

# Schlussbericht

zum Verbundvorhaben



CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von  
Deutsche Post DHL Group

<b>FuE-Programm "Erneuerbar Mobil" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)</b>	
<b>Schlussbericht</b>	
Vorhabenbezeichnung: <b>Bundesweite Umsetzung von E-Mobilität im Flottenbetrieb</b> <div style="text-align: right;"><small>Gefördert durch:</small>  <small>aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages</small></div>	
Laufzeit des Vorhabens: vom: 01.01.2016 bis: 31.12.2018	
Zuwendungsempfänger: <i>(Auflistung aller Verbundpartner)</i>  StreetScooter GmbH Deutsche Post AG  RWTH Aachen	Förderkennzeichen: <i>(FKZ's entsprechend der links angegebenen Verbundpartner)</i>  16EM3005-1 16EM3005-2 16EM3005-3 16EM3005-4



CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von  
Deutsche Post DHL Group

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
1 Zusammenfassung .....	1
2 Zielstellung des Verbundprojekts .....	2
3 Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojekts .....	4
3.1 Teilvorhaben 1: Beschaffung von 1.000 Fahrzeugen für die Verbundzustellung.....	4
3.1.1 Standortauswahl .....	5
3.2 Teilvorhaben 2: Beschaffung von 50 Fahrzeugen für die Paketzustellung.....	7
3.3 Teilvorhaben 3: Entwicklung eines induktiven Ladesystems für den Zustellbetrieb .....	9
3.3.1 Entwicklung des induktiven Ladesystems.....	10
3.3.2 Entwicklung eines Fahrerassistenzsystems .....	17
3.3.3 Testbetrieb.....	20
3.4 Teilvorhaben 4: Entwicklung einer intelligenten Steuerung des Ladevorgangs.....	25
3.5 Teilvorhaben 5: Steigerung der Energieeffizienz der elektromobilen Zustellflotte .....	30
3.5.1 Clusterung von Hardware- und Softwarekonfigurationen.....	30
3.5.2 Temperierung.....	32
3.6 Teilvorhaben 6: Optimierung des Flotten--CO <sub>2</sub> -Footprints durch Steigerung der Fahrzeugnutzungsdauer .....	36
3.7 Teilvorhaben 7: Datenerhebung und technische Evaluation .....	38
3.7.1 Aufbereitung der wesentlichen Fragestellungen .....	38
3.7.2 Detaillierte Untersuchung des Zustellprozesses anhand von Begleitfahrten .....	39
3.7.3 Prozessbeschreibung Zustellung.....	43
3.7.4 Datenerhebung und Datenmanagement.....	44
3.7.5 Allgemeine Gestaltungsrichtlinien für Zustellfahrzeuge .....	46
3.7.6 Vorgehensweise auf Basis der vorherigen Ergebnisse .....	47
3.7.7 Umsetzung des Analysetools zur Bewertung der Fahrzeugnutzung .....	48
3.7.8 Exemplarische Erkenntnisse aus den Werkstattdaten .....	49
3.7.9 Aufbereitung der wesentlichen Fragestellungen .....	50
3.7.10 Implementierung einer Predictive Maintenance Lösung .....	51
3.7.11 Entwicklung einer strukturierten Methodik zur Bewertung der Fahrzeugnutzung ..	53
3.7.12 Exemplarische Erkenntnisse aus den DailyStats und den Verlaufsdaten .....	55
3.7.13 Datenanalyse der DailyStats und der Verlaufsdaten.....	58
4 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan.....	68
5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik .....	69
6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf .....	70
7 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).....	71
8 Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen der Ergebnisse .....	72

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bundesumweltministerin Barbara Hendricks a.D. und Jürgen Gerdes, Vorstand Deutsche Post DHL Group bei der Überreichung weiterer Fördermittel für die Elektrifizierung der Postflotte (Quelle: Handelsblatt, 07.09.2017) .....	5
Abbildung 2: Selektionskriterien für Ausstattung Bestandsimmobilie mit Ladetechnik.....	6
Abbildung 3: Übersicht 255 Zustellstützpunkte mit Neuauslieferungen im Jahr 2017. Anzahl Fahrzeuge 1 bis 35 pro Standort. ....	6
Abbildung 4: StreetScooter bei Deutsche Post DHL Group in Zahlen, Stand Dezember 2018.....	7
Abbildung 5: Übersicht 11 Zustellbasen mit Neuauslieferungen StreetScooter Work XL im Jahr 2017 .....	8
Abbildung 6: Jürgen Gerdes und Steve Armstrong, Group Vice President and President Europe, Middle East and Africa, Ford Motor Company, bei der Vorstellung des StreetScooter Work XL am 16.08.2017 .....	9
Abbildung 7: Arbeitspaketübersicht und Herausforderungen .....	10
Abbildung 8: Integration der Spule (InterOp) – Spule in rot.....	11
Abbildung 9: Integration der Spule (CO <sub>2</sub> -freie Zustellung) – Spule in gelb .....	12
Abbildung 10: Systembeschreibung .....	13
Abbildung 11: Programmablauf der ICCU-Software .....	14
Abbildung 12: Demontage von Letterbox, Handschuhfach, Fußmatte, untere Mittelkonsole und Radhaus vorne rechts .....	15
Abbildung 13: Installationsort Handschuhfach .....	15
Abbildung 14: Verlegeweg des HV-Kabels im Technikraum .....	16
Abbildung 15: Pulverbeschichtetes Spulengestell.....	17
Abbildung 16: Sekundärspule inkl. Spulengestell sowie Box mit Leistungselektronik integriert in Fahrzeug .....	17
Abbildung 17: Prozessablauf des Positioniermanövers .....	18
Abbildung 18: Vorpositionierung mit Fahrschlauch .....	19
Abbildung 19: Feinpositionierung mit einem Gamification-Ansatz.....	19
Abbildung 20: Geplanter Pilotstandort für das induktive Laden bei der Deutschen Post in Aachen .....	21
Abbildung 21: Beschreibung der Use Cases .....	21
Abbildung 22: Gründe der Use Case Änderung.....	22
Abbildung 23: Vergleich von Überflur- und Unterflurlösungen (Quelle: IPT Technology GmbH) .....	23
Abbildung 24: Primärspule inkl. Einspeisekonverter .....	23
Abbildung 25: Testaufbau B16 mit IPT System.....	24
Abbildung 26: Screenshot vom P-CAN Explorer - Nachweis des induktiven Ladens mit B16 und IPT System.....	24
Abbildung 27: Aufgenommene Messwerte (B16 mit IPT System).....	25
Abbildung 28: Ladesteuerung für Flotteneinsatz.....	26
Abbildung 29: C2C Überblick.....	27
Abbildung 30: Vorgabe von Ladeleistungen durch die Ladeleitwarte .....	28
Abbildung 31: Auszug aus dem StreetScooter-Cloud-System .....	29
Abbildung 32: Systemübersicht .....	31
Abbildung 33: Definierte Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz .....	32
Abbildung 34: Verbesserung der Defroster .....	33
Abbildung 35: Ergebnis der Befragung .....	34
Abbildung 36: Regionen mit Wärmeverlust.....	34
Abbildung 37: Türseitenverkleidung und Mittelkonsole .....	35
Abbildung 38: Thermographien der Interieur-Teile.....	35
Abbildung 39: Untersuchung des State-of-Health .....	37
Abbildung 40: Exemplarische Zustellung von Briefen (links) und Paketen (rechts) .....	40



CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von  
Deutsche Post DHL Group

Abbildung 41: Route einer Begleitfahrt (links) und Markierung Haltepunkte & Paketzustellungen (rechts), (Quelle: GoogleEarth).....	41
Abbildung 42: Verteilung der Stopps (Anzahl (oben) und Zeitanteil (unten)).....	45
Abbildung 43: Geschwindigkeits- (oben) und Beschleunigungsprofil (unten) eines Tages.....	46
Abbildung 44: Auszug aus dem Excel-Bewertungstool.....	48
Abbildung 45: ABC-Analyse der Arbeitspositionen nach absoluter Häufigkeit .....	49
Abbildung 46: Analyse der Arbeitspositionen nach Depotstandorten und relativer Häufigkeit ...	50
Abbildung 47: Darstellung der relevanten Parameter .....	52
Abbildung 48: Vergleich der Datenquellen.....	52
Abbildung 49: Schema Methodik strukturierte Kennzahlenentwicklung .....	55
Abbildung 50: DailyStats: Verhältnis von Rekuperationsenergie zu Anzahl an Rekuperationsvorgängen .....	56
Abbildung 51: Batterieladestand am Ende der Zustellung .....	57
Abbildung 52: Ausschnitt des zeitlichen Beschleunigungs- und Leistungsverlaufs .....	58
Abbildung 53: Betätigung der Frontscheibenheizung in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur .....	59
Abbildung 54: SOC-Verbrauch der Zustellfahrzeuge während einer Zustellfahrt .....	60
Abbildung 55: Gegenüberstellung des Start-SOC und End-SOC.....	60
Abbildung 56: Rekuperierte Energie in Abhängigkeit der zurückgelegten Höhenmeter.....	61
Abbildung 57: Durchschnittlicher Energieverbrauch in Abhängigkeit der Region .....	61
Abbildung 58: Durchschnittlicher Energieverbrauch in Abhängigkeit der erreichten Maximalgeschwindigkeit.....	62
Abbildung 59: Durchschnittlicher Energieverbrauch in Abhängigkeit der Anzahl der Stopps .....	63
Abbildung 60: Zeitliche Aufteilung nach Fahrmodi .....	63
Abbildung 61: Verteilung der Fahrzeuge auf den Anteil des Fahrmodus e an der gesamten Fahrzeit .....	64
Abbildung 62: Verteilung der Fahrzeuge auf den Anteil des Fahrmodus d an der gesamten Fahrzeit .....	64
Abbildung 63: Anzahl der Stopps und Türöffnungen in Abhängigkeit des Fahrzeugmodells .....	65
Abbildung 64: Betätigung der Frontscheibenheizung (B16) in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur.....	65
Abbildung 65: Betätigung der Frontscheibenheizung (D16) in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur.....	66
Abbildung 66: Spannungs- und Geschwindigkeitsverlauf über der Zeit .....	66



CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von  
Deutsche Post DHL Group

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wichtigste Unterschiede des induktiven Ladesystems zwischen InterOp und CO <sub>2</sub> -freie Zustellung.....	12
Tabelle 2: Ergebnisse der Dämmung .....	33
Tabelle 3: Exemplarische Fragestellungen und Themenbereiche.....	39
Tabelle 4: Messergebnisse der Teilschritte.....	42
Tabelle 5: Einsparpotentiale für ein optimiertes Zustellfahrzeug .....	42
Tabelle 6: Vor- und Nachteile der Nutzung von Elektroautos als Zustellfahrzeuge .....	47
Tabelle 7: Exemplarische Fragestellungen und Themenbereiche (ergänzt).....	51

## 1 Zusammenfassung

Das Vorhaben „Bundesweite Umsetzung von E-Mobilität im Flottenbetrieb“ untersuchte in einer 3-jährigen Projektphase das Leistungsvermögen batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge im gewerblichen Flottenbetrieb. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) förderte das Vorhaben aus Mitteln des FuE-Programms "Erneuerbar Mobil" und leistete direkte Unterstützung beim Einsatz von mehr als 2.100 Fahrzeugen und Ladepunkten. Begleitet wurde der Flottenbetrieb durch eine umfangreiche Datenerhebung sowie eine wissenschaftliche Begleitforschung. Als Anreizmaßnahme für eine Verkehrswende und als Maßnahmen gegen zu hohe Stickoxid-Werte in Innenstädte, wurden die Projektmittel im Jahr 2017 einmalig aufgestockt. Neben den Fahrzeugen fokussierte das Vorhaben komplementäre Bereiche der Fahrzeugnutzung sowie Möglichkeiten, erhobene Daten für eine verbesserte Wirtschaftlichkeit zu nutzen. Verbesserte Lebenszykluskosten wurden über Erlösmodelle mit Fahrzeugdaten, eine Früherkennung von Verschleißdaten sowie eine verbesserte Einsatzplanung adressiert. Eine Kernanforderung für elektrisch betriebene Flotten ist die zuverlässige Betankung mit Strom. Trotz Einbindung aller Fahrzeuge in ein Lastmanagement bleibt diese Herausforderung bestehen. Als Alternative wurde im Vorhaben die induktive Betankung mit Strom erprobt. Zwar erreichte der Aufbau die erwartete Ladeleistung, besitzt aber für regelmäßige Verkehre und den Einsatz in Großflotten noch nicht die nötige Anwendungsreife. Im Projektzeitraum legten die beschafften Fahrzeuge eine Strecke von über 5 Millionen Kilometern auf öffentlichen Straßen zurück. Über 300 Standorte wurden neu beliefert oder die Anzahl der dort eingesetzten Fahrzeuge erhöht.

Das Vorhaben offenbarte große Möglichkeiten, die Elektromobilität in Deutschland zu einem dauerhaften Erfolgsmodell zu entwickeln und das Anwendungswissen für komplementäre Geschäftsmodelle zu nutzen. Zugleich bleiben bekannte Herausforderungen bei der Energiebereitstellung auf der letzten Meile ungelöst und kommen Umsetzungshürden hinzu, die sich erst mit einer noch größeren Skalierung von Flotten zeigen. Besondere Zuwendung erfordern anwenderorientierten Regelung beim Datenschutz sowie dem Aufbau von Ladetechnik bei Mietobjekten.

In dem Vorhaben haben die Projektpartner alle wesentlichen Meilensteine erreicht oder Bedarfe für Folgeforschung adressiert. Die Erhebung und Weiterverarbeitung von Nutzerdaten offenbarte hohe rechtliche Hürden, die in Folgevorhaben zu klären sind.

## 2 Zielstellung des Verbundprojekts

Das Ziel des Verbundprojekts „Bundesweite Umsetzung von E-Mobilität im Flottenbetrieb“ war die Einführung einer großen Anzahl von Elektrofahrzeugen an Standorten in Deutschland, die Erkenntnisse über die operative Beständigkeit im Flottenbetrieb erlaubt. Dieser Nachweis wurde am Beispiel der Verbund- und Paketzustellung bei Deutsche Post DHL (auch: DPDHL) erbracht.

Das Projekt baut auf den Ergebnissen des Vorhabens „CO<sub>2</sub>-freie Zustellung in Bonn“ (FKZ: 16EM1029) auf, in dem die grundsätzliche Eignung von E-Fahrzeugen für den Zustellbetrieb bereits nachgewiesen werden konnte.

Noch vor der öffentlichen Debatte um blaue Plaketten oder Fahrverbote in Innenstädten, wurde von dem Konsortium der Bedarf adressiert, die Leistungsfähigkeit der Technologie auf die Probe zu stellen. Die politischen Entwicklungen nach Beginn der Projektlaufzeit haben gezeigt, dass der Verbund an dieser Stelle eine Vorreiterrolle eingenommen hat, um technologische und organisatorische Hürden zu identifizieren und Lösungen für diese zu erarbeiten.

Der Flottenbetreiber Deutsche Post DHL Group verfolgt in diesem Zusammenhang das Ziel, die elektrische Fahrzeugflotte möglichst harmonisch in die bestehende Flotte zu integrieren und in der täglichen Nutzung nachzuweisen, dass E-Mobilität für KEP Dienstleister eine verlässliche und zukunftssichere Lösung ist. Dazu wurden die Fahrzeuge unter unterschiedlichen Bedingungen hinsichtlich Topographie, Witterungsbedingungen, Elektrifizierungsgrad pro Standort und Immobilien eingesetzt. Dabei stand stets im Vordergrund, mit den Elektrofahrzeugen den gleichen Anforderungen gerecht zu werden wie die bislang zum Einsatz kommenden konventionellen Fahrzeuge. Mit den Erkenntnissen dieses Flotteneinsatzes über die Dauer des Projekts hat Deutsche Post DHL Group die Chance, die Flotte systematisch weiter zu elektrifizieren und die Lösungsansätze für Herausforderungen, die während der Projektlaufzeit aufgetreten sind, flächendeckend zu integrieren.

Die StreetScooter GmbH hatte in dem Vorhaben das vorrangige Ziel, die Erkenntnisse des Flotteneinsatzes der StreetScooter Modelle für die eigene Weiterentwicklung der Fahrzeuge nutzbar zu machen. Diese Weiterentwicklungen wurden stets hinsichtlich Ihres Mehrwerts für die Energieeffizienz der Fahrzeuge sowie die Verbesserung des CO<sub>2</sub>-Footprints der Flotte überprüft. Darüber hinaus sollten aktuelle F&E-Themen, wie das induktive Laden, aus dem InterOp-Projekt (FKZ: 16EM1070) aufgegriffen werden, um die Tauglichkeit für den Flotteneinsatz zu überprüfen.

Das PEM der RWTH Aachen hatte das erklärte Ziel, eine Datenerhebung und technische Evaluation gesammelter Daten vorzunehmen. Damit konnte das Projekt um einen neutralen Standpunkt erweitert werden, der kennzahlenbasiert Erkenntnisse objektiviert





CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von  
Deutsche Post DHL Group

hat. Dies war erforderlich um allgemeingültige Aussagen abzuleiten, die auch von anderen Flottenbetreibern, die ihren Fuhrpark elektrifizieren möchten oder müssen, genutzt werden können.

### 3 Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojekts

Ein wesentlicher Teil der Treibhausgasemissionen in der Logistik entsteht während des Transportvorgangs auf der Straße. Die CO<sub>2</sub>-Effizienz wird somit wesentlich von der Zusammensetzung der Flotte bestimmt. Um die langfristige Mission einer Null-Emissionen-Logistik zu verwirklichen, ist die Elektromobilität in der Zustellung und Abholung von Brief- und Paketsendungen ein zentrales Handlungsfeld. Zu Beginn des Vorhabens wurden in der Flotte von Deutsche Post DHL Group rund 400 Elektrofahrzeuge in ausgewählten Regionen und Standorten eingesetzt.

Der bundesweite Einsatz von E-Fahrzeugen erfordert die Skalierung aller vor- und nachgelagerten Abläufe und die Einführung standardisierter Entscheidungswege.

Die Auswahl und Ertüchtigung von Gebäuden sowie das Flottenmanagement können, anders als bei Pilotflotten, nicht mehr zentral von wenigen Experten betreut werden.

Vorangegangene Vorhaben zeigten bei allen erforderlichen Entscheidungen wiederkehrende Muster und Lösungswege. Im Vorhaben wurden entscheidungsrelevante Angaben in Kennzahlen überführt. Für die Nutzung eines Standortes sind beispielsweise seine operative Nutzungsperspektive sowie der Aufwand für die Ertüchtigung maßgeblich. Diese steuerbare Kennzahlen ermöglichen es der Organisation, Entscheidungen auch ohne Fachwissen zu Elektromobilität durch dezentral organisierte Fachbereiche zu treffen.

#### 3.1 Teilvorhaben 1: Beschaffung von 1.000 Fahrzeugen für die Verbundzustellung

Das Teilvorhaben „Beschaffung Verbundzustellung“ fokussiert die Beschaffung von Elektrofahrzeugen und den Aufbau der zugehörigen Ladeinfrastruktur an Standorten für die Verbundzustellung, sogenannte Zustellstützpunkte. Die grundsätzliche Eignung der Elektromobilität für kleine Flotten und im urbanen Wirtschaftsverkehr wurde durch vorangegangene Förderinitiativen der Bundesministerien bereits bestätigt.

Im Vorhaben „Bundesweite Umsetzung von E-Mobilität im Flottenbetrieb“ werden alle operativen Einsatzprofile in der Zustellung der Deutschen Post abgebildet und ermöglichen eine repräsentative Bewertung der Implementierungschancen im gesamten Bundesgebiet. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) leistete mit der bereitgestellten Förderung einen großen Beitrag für den Einsatz von 1.000 Fahrzeugen StreetScooter Work und zur Umsetzung des bislang größten Elektromobilitätsprojektes in Deutschland. Im Juli 2017 wurde das Vorhaben durch zusätzliche Fördermittel des Bundes aufstockt und die Anschaffung weiterer 1.030 Fahrzeuge StreetScooter Work L gefördert. (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Bundesumweltministerin Barbara Hendricks a.D. und Jürgen Gerdess, Vorstand Deutsche Post DHL Group bei der Überreichung weiterer Fördermittel für die Elektrifizierung der Postflotte (Quelle: Handelsblatt, 07.09.2017)

### 3.1.1 Standortauswahl

Voraussetzung für den operativen Einsatz von Elektrofahrzeugen in der Brief- und Paketzustellung ist die Eignung des Fahrzeugstandortes für den Aufbau von Ladestationen. Kamen bei vorangegangenen Projekten nur Standorte mit grundlegend geeigneten Rahmenbedingungen in Betracht, muss die Standortauswahl bei einem flächendeckenden Einsatz einem Beurteilungsmodell für alle genutzten Standorte weichen. Diese Beurteilung muss über quantifizierbare Kriterien und durch eine Vielzahl unterschiedlicher Bearbeiter in einen einheitlichen Auswahlprozess münden.

Die Eignung eines Standortes berücksichtigt die Anzahl möglicher Zustellbezirke für Elektrofahrzeuge, die mittelfristige Bestands-Perspektive des Standortes sowie den kaufmännischen Aufwand für die Ertüchtigung der Immobilie. Über 80% der Bestandsimmobilien erfüllen eines oder mehrere der Auswahl-Kriterien nicht. Mögliche Konsequenzen sind eine Behebung der Restriktion oder ein Verzicht auf den Standort. Beim Einsatz von Elektrofahrzeugen wird der Fahrzeugbetreiber automatisch zum "Tankstellenbetreiber". Da ein Aufladen auf dem Betreibergrundstück stattfindet, muss von diesem ebenfalls eine investitionsintensive Ladeinfrastruktur bereitgestellt werden. Sollte der Standort umziehen, fallen erneut Installationskosten für die Ladeinfrastruktur an. Entsprechend werden Standorte, bei denen ein Umzug in Aussicht steht, für die Ausstattung mit Ladeinfrastruktur ausgeschlossen

Das Entscheidungsmodell für die Ausstattung von Standorten mit Ladetechnik ist in Abbildung 2 dargestellt.

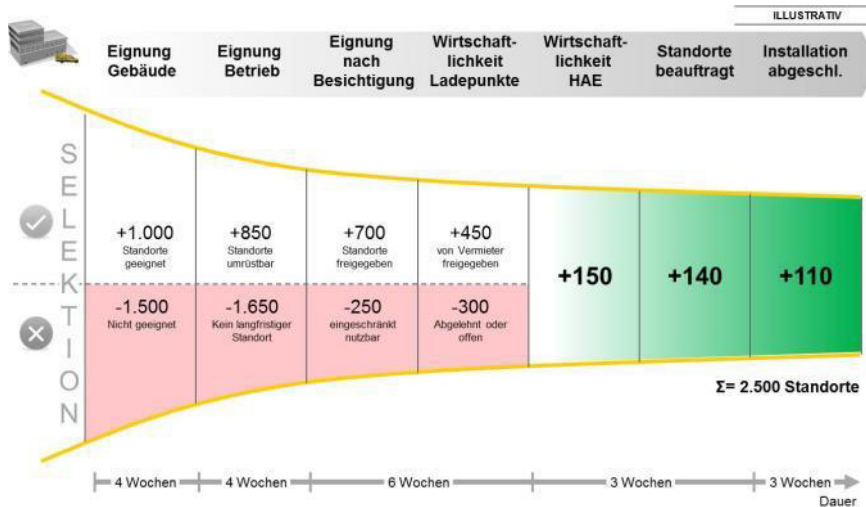


Abbildung 2: Selektionskriterien für Ausstattung Bestandsimmobilie mit Ladetechnik

Mit einer Reichweite von rund 200 Kilometern pro Batterieladung und einem Ladevolumen von 8 Kubikmetern im Modell Work L können die Fahrzeuge jede geforderte Transportaufgabe in der Verbundzustellung ohne Nachladen von Paketen oder Betanken mit Strom absolvieren. Als Planungsrestriktion ist das Kriterium „Tourlänge“ seit Einführung des Modells Work L mit einer Akkukapazität von 40 kWh nicht mehr relevant. Somit sind die Fahrzeuge unabhängig von der Topologie des Zustellgebietes.



Abbildung 3: Übersicht 255 Zustellstützpunkte mit Neuauslieferungen im Jahr 2017. Anzahl Fahrzeuge 1 bis 35 pro Standort.

Am Ende des geförderten Projektzeitraums am 31.12.2018 setzte Deutsche Post DHL Group bundesweit rund 9.000 StreetScooter Work, Work L und Work XL ein und verminderte so den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in der Zustellung allein im Jahr 2018 um 30.000 t.



Abbildung 4: StreetScooter bei Deutsche Post DHL Group in Zahlen, Stand Dezember 2018

### 3.2 Teilvorhaben 2: Beschaffung von 50 Fahrzeugen für die Paketzustellung

Das Teilvorhaben „Beschaffung Paketzustellung“ widmet sich der Beschaffung und Integration von Fahrzeugen für die reine Paketzustellung. Operativ wird die Zustellung von Brief- und Paketsendungen bei hoher Haushaltsdichte in getrennten Netzen organisiert. Die Paketzustellung beansprucht mit rund 13.000 Fahrzeugen etwa ein Drittel der Flotte und ist, im Gegensatz zur klassischen Briefzustellung, eine Wachstumsbranche mit steigendem Transportbedarf.

Die dafür eingesetzten Fahrzeuge basieren auf Nutzfahrzeugen der Klassen N1 oder N2 und sind mit einem Integral-Aufbau ausgestattet, der ein besonders hohes Nutzvolumen bietet.

Auch die Anzahl der geförderten Paketzustellfahrzeuge wurde von ursprünglich 50 auf 150 Fahrzeuge aufgestockt. Der StreetScooter Work XL ist das erste Modell des Aachener Unternehmens, das in Kooperation mit einem etablierten Automobilhersteller entstanden ist. Der StreetScooter Work XL basiert auf dem Fahrgestell des Ford Transit. Die Hochvolt-Batterie, der Antriebsstrang sowie der Kofferaufbau wurden von StreetScooter entwickelt und entsprechen den Vorgaben von Deutsche Post DHL Group für die innerstädtische Paketzustellung.





CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von  
Deutsche Post DHL Group



Abbildung 5: Übersicht 11 Zustellbasen mit Neuauslieferungen StreetScooter Work XL im Jahr 2017

Der StreetScooter XL hat ein Ladevolumen von ca. 20 Kubikmetern und damit Platz für bis zu 200 Pakete. Im Unterschied zu den Modellen Work und Work L verfügt der Kofferaufbau des Work XL über ein Regalsystem sowie eine Durchgangstür zur Fahrerkabine. Die Reichweite liegt je nach Konfiguration bei 80 bis 200 Kilometern. Ein weiterer Unterschied zu dem bisherigen Portfolio ist die Möglichkeit des dreiphasigen Ladens der Batterie mit bis zu 22 kW Ladeleistung.



Abbildung 6: Jürgen Gerdes und Steve Armstrong, Group Vice President and President Europe, Middle East and Africa, Ford Motor Company, bei der Vorstellung des StreetScooter Work XL am 16.08.2017

### 3.3 Teilvorhaben 3: Entwicklung eines induktiven Ladesystems für den Zustellbetrieb

Im Teilvorhaben 3 wurde ein induktives Ladesystem sowie ein Fahrerassistenzsystem für die Positionierung über der Ladespule auf Infrastrukturseite entwickelt. Damit stellt das Teilvorhaben eine konsequente Fortführung der Entwicklungen aus den Förderprojekt „InterOp“ dar, in dem bereits per Kreuzversuche nachgewiesen werden konnte, dass dank des InterOp-Standards unterschiedliche Primär- und Sekundärspulen verschiedener Hersteller miteinander kompatibel sind.

Dies wurde sich in diesem Teilvorhaben zu Nutze gemacht, indem für die Partnerwahl zur Entwicklung des Ladesystems aus den InterOp-Projektpartnern gewählt wurden. Hierbei musste nicht ein Dienstleister identifiziert werden, der sowohl Primär- als auch Sekundärsystem entwickelt. Stattdessen wurde für die Sekundärseite die Fa. EAI Elektro- und Automatisierungstechnik GmbH und für die Primärseite die Fa. IPT Technology beauftragt.

Die Motivation für eine Weiterentwicklung dieser Technologie entstand bei der Analyse betrieblicher Abläufe an den Zustellstützpunkten der Deutschen Post. In wiederholten Fällen war die Betriebsfähigkeit der Fahrzeuge für die Zustellung eingeschränkt, weil das Einstecken des Ladesteckers am Vortag fehlerhaft war und das Fahrzeug nicht mit seiner

vollen Akkukapazität zur Verfügung stand. Das kabellose Laden stellt einen Lösungsansatz dar, da ein optisches und akustisches Fahrerassistenzsystem die korrekte Positionierung des Fahrzeuges über der Sekundärspule überwacht und die Ladung des Fahrzeuges nach Ende des Parkmanövers automatisch beginnt..

Aufgrund technischer sowie organisatorischer Bedenken wurde im Jahr 2018 entschieden, von diesem Use Case abzuweichen und eine interne Werkslogistik über diese Technologie zu realisieren. Die Hintergründe dessen werden in Kapitel 3.3.1 erläutert.

Welche Arbeitspakete das Teilvorhaben umfasst und welche technischen Hindernisse grundsätzlich existierten, werden in Abbildung 7 aufgezeigt.

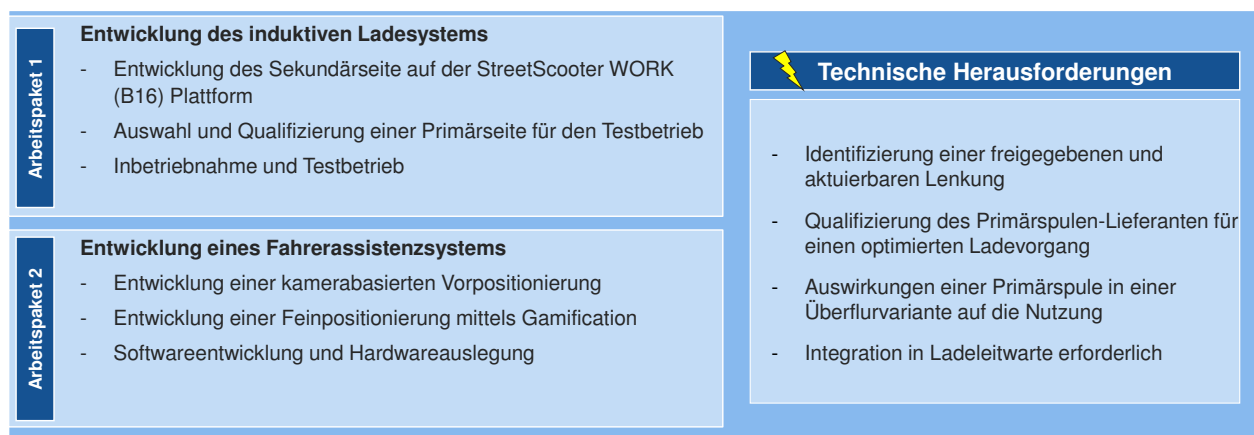


Abbildung 7: Arbeitspaketübersicht und Herausforderungen

### 3.3.1 Entwicklung des induktiven Ladesystems

Für die Entwicklung des induktiven Ladesystems wurde im ersten Schritt mit den Entwicklungspartnern die Anforderung des neuen Systems abgestimmt. Daraufhin wurde ein erstes Muster der Sekundärspule aufgebaut sowie die definierte E/E-Architektur an dem ersten B16 umgesetzt.

#### Unterschiede zu InterOp

Für den Anwendungsfall bei der Deutschen Post wurde eine Weiterentwicklung der bestehenden Systeme notwendig, da sich technische Parameter des einzusetzenden Fahrzeugs änderten. Während bei dem Projekt InterOp der StreetScooter WORK (B14) eingesetzt wurde, sollte in diesem Projekt der StreetScooter WORK (B16) verwendet werden. Neben optischen Anpassungen wie einem verbesserten Fußgängerschutz, unterscheidet sich der B16 vor allem in technischen Komponenten.

Die größte Herausforderung bestand in der Anpassung des Luftspalts. Während dieser bei InterOp noch 150 mm zwischen Primär- und Sekundärspule betrug, wurde er für das vorliegende Projekt mit 220 mm spezifiziert, was insbesondere den Hintergrund hatte,



dass die Sekundärspule bündig mit dem tiefsten Punkt des Fahrzeugchassis abschließen und nicht, wie bei InterOp, den tiefsten Punkt des Fahrzeugs darstellen sollte. Damit sollte vermieden werden, dass das System im täglichen Posteingsatz, beispielsweise bei Befahren eines Bordsteins, aufsetzt und beschädigt wird.

Zusätzlich wurden technische Anpassungen auf Sekundärseite aufgrund der höheren Spannungslage des B16 gegenüber dem B14 notwendig. Ein großer Teil der Elektronikkomponenten für Sekundärspule und der ICCU<sup>1</sup> musste neu ausgelegt werden, um den höheren Spannungen standzuhalten. Weiterhin war es erforderlich die CAN-Matrix anzupassen, da es sich um eine neuere Antriebs- und Batteriegeneration handelt. Auch auf mechanischer Seite wurden Anpassungen festgelegt. Die wichtigste Änderung war die Re-Positionierung der Sekundärspule hinter die Fahrerkabine. Während bei InterOp die Spule noch zu einem großen Teil unter der Fahrerkabine positioniert war (siehe Abbildung 8), wurde sie für dieses Projekt zwischen Fahrerkabine und Hinterachse gesetzt. Dies hatte insbesondere den Vorteil, dass dadurch die Traktionsbatterie uneingeschränkt zugänglich bleibt und die Spule nicht mehr der tiefste Punkt des Fahrzeugs ist (siehe Abbildung 9).

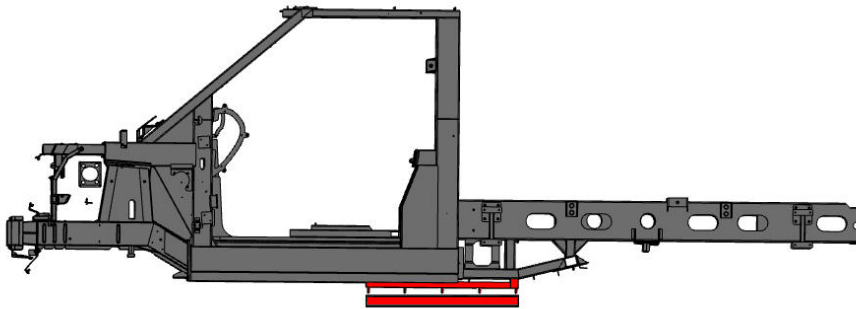


Abbildung 8: Integration der Spule (InterOp) – Spule in rot

<sup>1</sup> Inductive Charge Control Unit

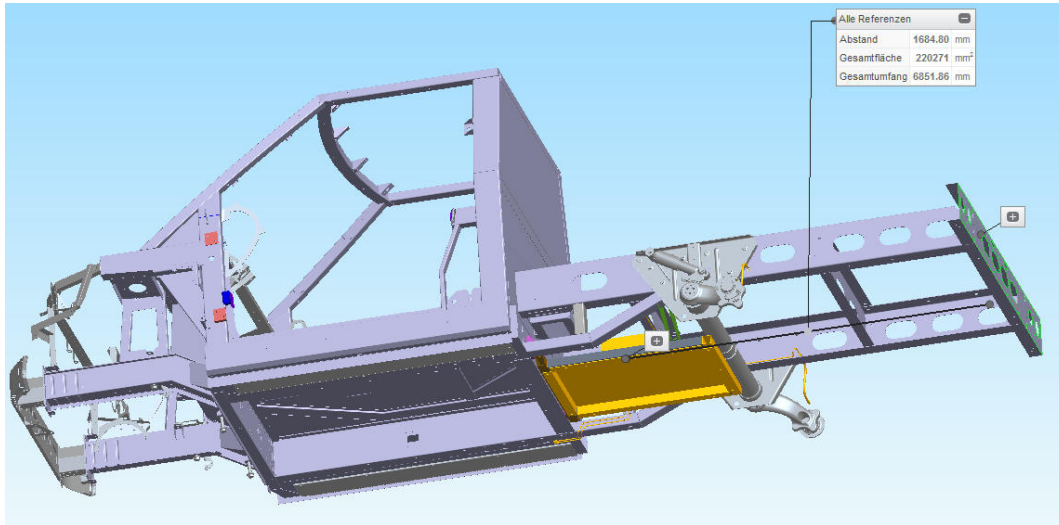


Abbildung 9: Integration der Spule (CO<sub>2</sub>-freie Zustellung) – Spule in gelb

Mit Hinblick auf eine mögliche Verwertung in größerer Stückzahl wurde weiterhin das Material des Spulengehäuses geändert. Zuvor wurde hochpreisiger, dafür temperatur- und korrosionsbeständiger glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) verwendet. Dieser wurde zur Kostenoptimierung durch Aluminium ersetzt.

Ein Überblick der wichtigsten Änderungen zum InterOp System ermöglicht Tabelle 1.

InterOp		▶	CO <sub>2</sub> -freie Zustellung	
Luftspalt:	150 mm	▶	220 mm	
Spannungslage	140 V	▶	280 V	
Spulentyp:	Primär: Doppelflach Sekundär: Doppelflach	▶	Primär: Doppelflach Sekundär: Solenoid	
Kommunikation:	P2PS	▶	P2PC	
Positionierung:	Birdview-System	▶	Fahrerassistenzsystem (FAS)	

Tabelle 1: Wichtigste Unterschiede des induktiven Ladesystems zwischen InterOp und CO<sub>2</sub>-freie Zustellung

## Systemüberblick und ICCU Applikation

Bei dem betrachteten Teilsystem handelt es sich um eine induktive Ladeschnittstelle. Es wird dafür eine aktive Schnittstelle benötigt, um das System sicher und zuverlässig im StreetScooter WORK (B16) betreiben zu können. Der prinzipielle Aufbau der aktiven Schnittstellen sind Abbildung 10 zu entnehmen.

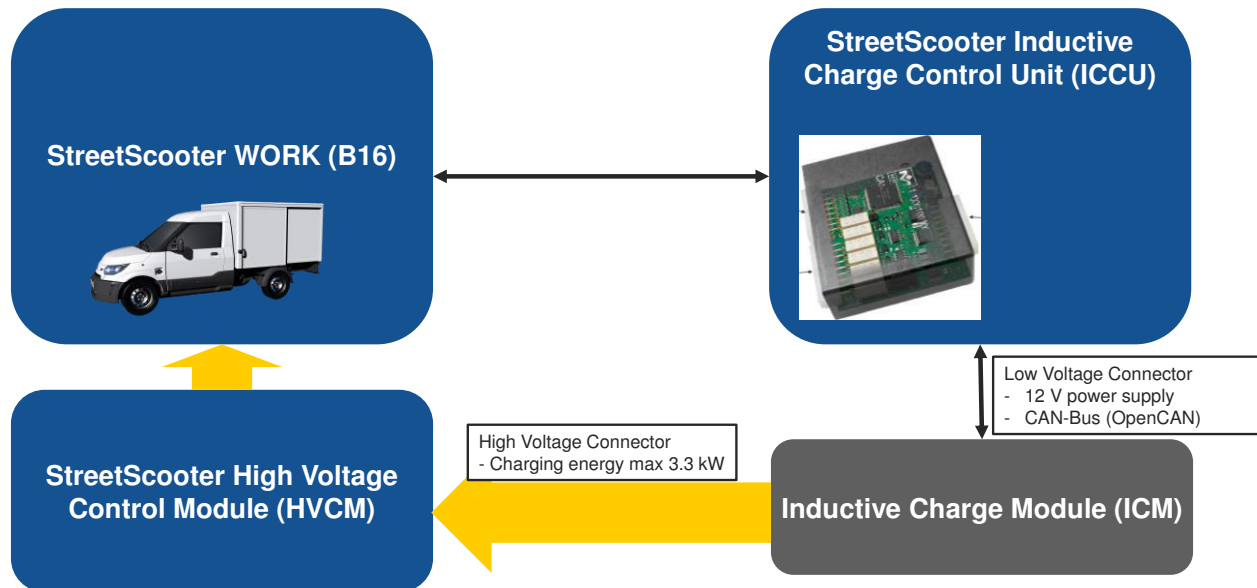


Abbildung 10: Systembeschreibung

Die ICCU ist ein CAN-Modul, welches von StreetScooter programmiert wurde. Die Aufgabe der ICCU ist es, die Kommunikation zwischen dem Fahrzeug und dem zusätzlichen Modul sicherzustellen.

Das High Voltage Control Modul (HVCM) besteht im Wesentlichen aus Hochvoltrelais, welche den Pfad für die Energieübertragung schließen. Das Modul wird von der ICCU gesteuert und steuert den Energiefluss im Hochvolt-Pfad.

Das Inductive Charge Module (ICM) ist ein induktives Energieübertragungssystem, das vom Dienstleister entwickelt wurde. Es dient der Kommunikation mit dem Fahrzeug über die von StreetScooter vorgegebene CAN-Schnittstelle.

Abbildung 11 stellt das Flussdiagramm des Programmablaufs der ICCU-Software dar. Aus diesem geht hervor, dass das Steuermodul im State „ChargeRequest“ ist, sobald die 12 V Batterie angeklemt ist. Das induktive Laden kann jedoch erst starten, wenn das Fahrzeug abgeschaltet ist und die Handbremse gezogen wurde. Das Handbremssignal wurde implementiert, um eine Absicherung zu haben, dass sich das Fahrzeug nicht bewegen kann, wenn das induktive Laden starten soll.

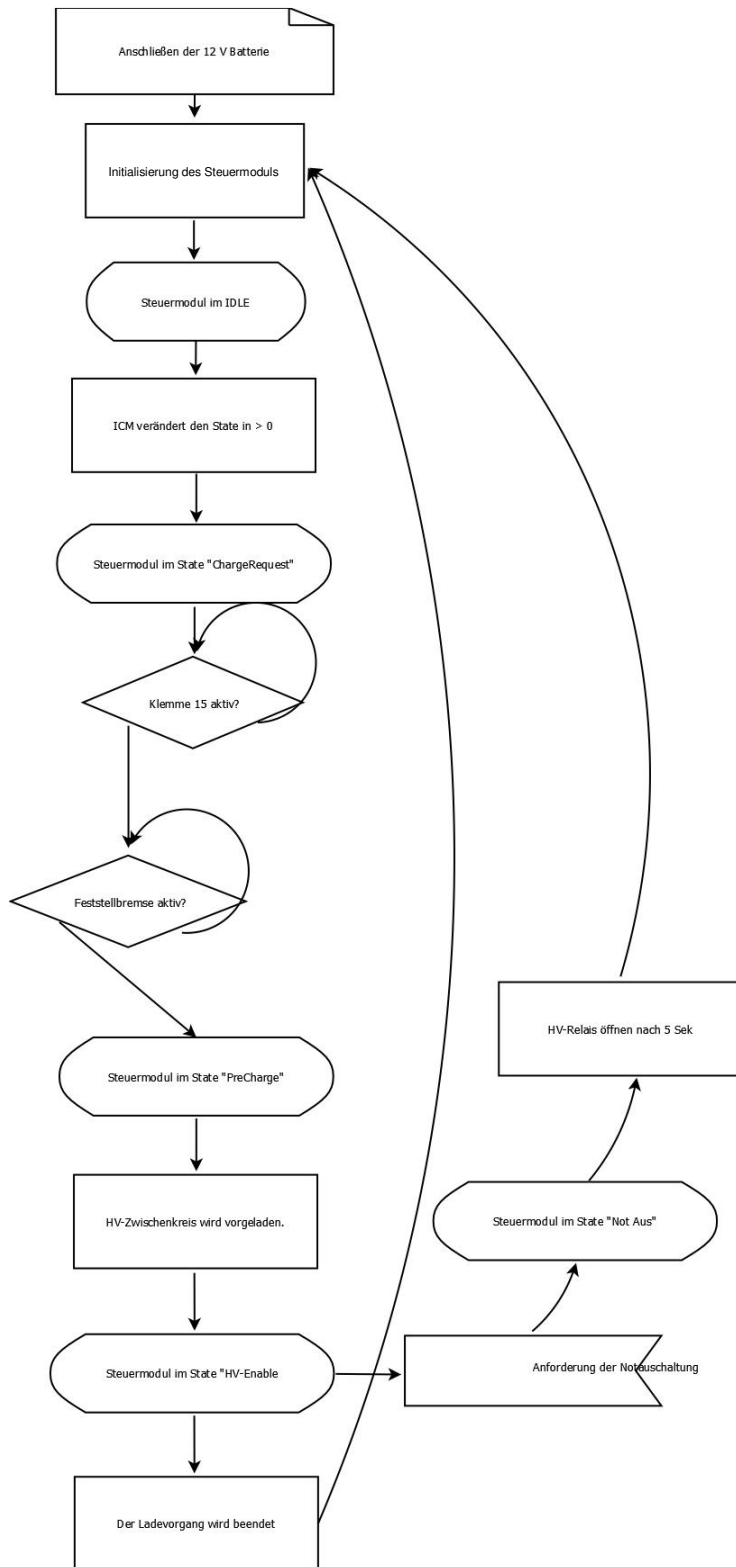


Abbildung 11: Programmablauf der ICCU-Software

## Anpassung der Fahrzeugarchitektur und Einbau der ICCU

Für den Umbau wurde ein StreetScooter B16 in der Post-Konfiguration gewählt, um den ursprünglichen Anwendungsfall realisieren zu können. Es folgt eine kurze Anleitung der wichtigsten Schritte zur Anpassung der E/E-Architektur und Einbau der ICCU.

### a) Demontage von Exterior- und Interior-Komponenten



Abbildung 12: Demontage von Letterbox, Handschuhfach, Fußmatte, untere Mittelkonsole und Radhaus vorne rechts

### b) Installation der ICCU in Handschuhfach

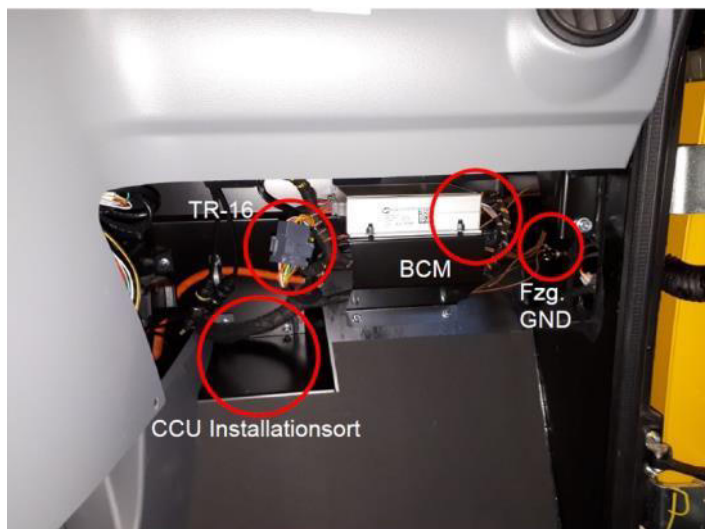


Abbildung 13: Installationsort Handschuhfach

### c) Installation des Kabelbaums im Technikraum rechts

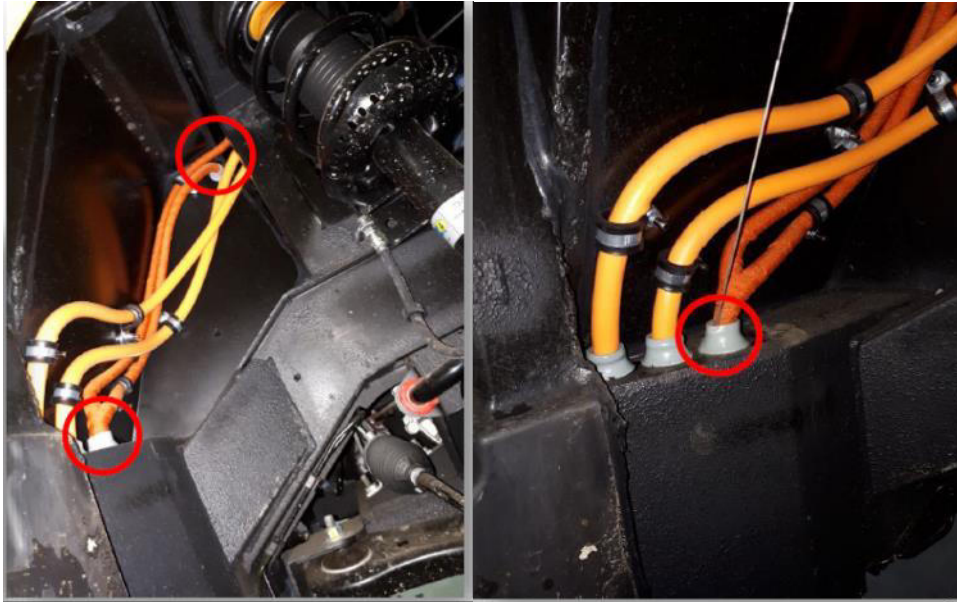


Abbildung 14: Verlegeweg des HV-Kabels im Technikraum

Darüber hinaus waren kleinere Änderungen im linken Technikraum sowie am Sicherungskasten für die Sicherungen von KL15 und KL30 notwendig.

Zum Abschluss wurden aktuelle Softwarestände auf die Steuergeräte des Fahrzeugs geflasht. Anschließend wurde das Fahrzeug zur Firma EAI transportiert, wo die mechanische und elektrische Integration der Sekundärspule stattfinden sollten.

#### **Installation der Sekundärspule**

Für die Installation der Sekundärspule im Fahrzeug wurde zunächst ein Spulengestell konstruiert und anschließend gefertigt. Zur Gewährleistung einer höheren Beständigkeit gegen Witterung wurde dieser Stahlrahmen pulverbeschichtet (siehe Abbildung 15). Die Halter dieses Rahmens wurden an den Heckrahmen des B16 geschweißt, wie Abbildung 16 demonstriert.



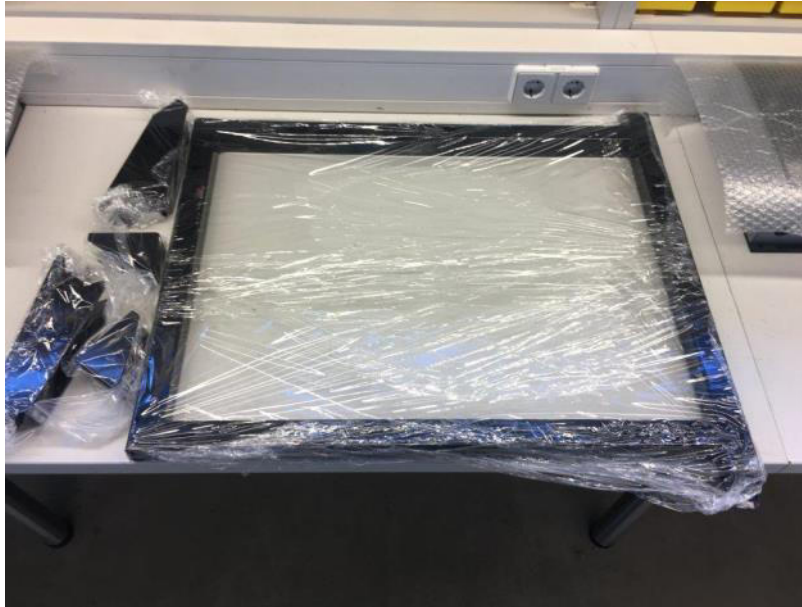


Abbildung 15: Pulverbeschichtetes Spulengestell



Abbildung 16: Sekundärspule inkl. Spulengestell sowie Box mit Leistungselektronik integriert in Fahrzeug

Sowohl die mechanische als auch elektrische Integration von Spule, Spulengestell und der Kabelbaumanpassungen wurden dokumentiert und können daher für künftige Umbauten weiter verwendet werden.

### 3.3.2 Entwicklung eines Fahrerassistenzsystems

Die Anforderung des Fahrerassistenzsystems für dieses Vorhaben sind die folgenden:

- Nutzung zum Anfahren von vermessenen induktiven Ladestationen.

- Kommunikation den Soll-Lenkwinkel an den Fahrer beim Anfahren über eine GUI<sup>2</sup> und Zusatzinstrumente.
- Kommunikation des relativen Abstands des Fahrzeuges zur Zielposition über die GUI und/oder Zusatzinstrumente.
- Kommunikation von Warnungen und Fehlern an den Fahrer
- Kamerabasiert

Der Ablauf wurde folgendermaßen festgehalten:

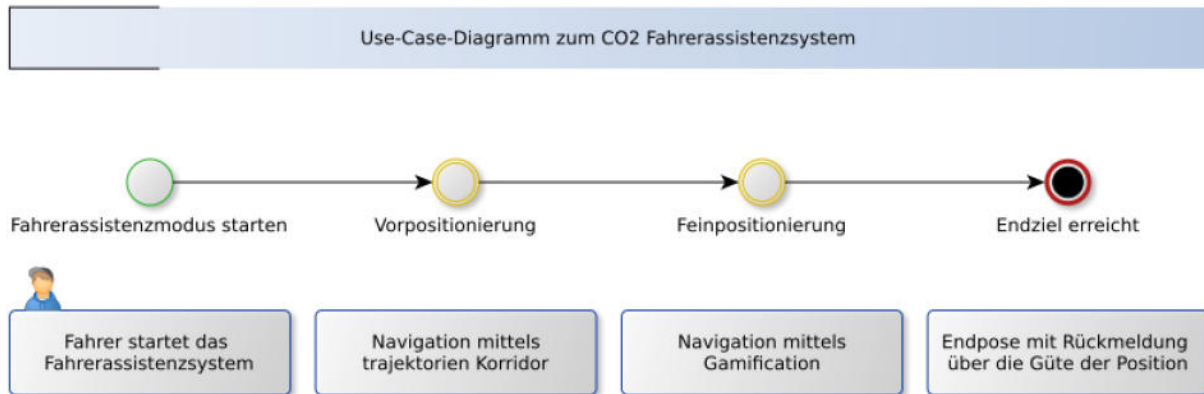


Abbildung 17: Prozessablauf des Positioniermanövers

### Fahrerassistenzmodus starten:

Während der Fahrer den Zustellplatz befährt und sich den induktiven Ladeplätzen annähert, hat der Fahrer die Möglichkeit das Assistenzsystem frühzeitig über einen Button zu starten. Dadurch beginnt die Vorpositionierung.

### Vorpositionierung:

Im Display bekommt der Fahrer seine aktuelle Ist-Lenkwinkel Position angezeigt. Der Lenkwinkel wird von zwei Trajektorien angezeigt, die zusammen einen Fahrschlauch bzw. Korridor abbilden, in dem der Fahrer sich bewegt. Somit kann der Fahrer in der Vorwärtsbewegung eine optimale Vorpositionierung antizipieren.

<sup>2</sup> graphical user interface (engl.: graphische Benutzeroberfläche)





Abbildung 18: Vorpositionierung mit Fahrschlauch

### Feinpositionierung:

Das Display zeigt dem Fahrer die Relativposition von der Fahrzeugspule zur Ladespule in einer abstrakten Form an (siehe Abbildung 19). Hierbei wird zusätzlich der Versatz in Längs- und Querrichtung berücksichtigt. Der Fahrer navigiert mittels „Gamification“ und akustischer Unterstützung beide abstrakten Formen übereinander, um eine optimale Positionierung zu erreichen.

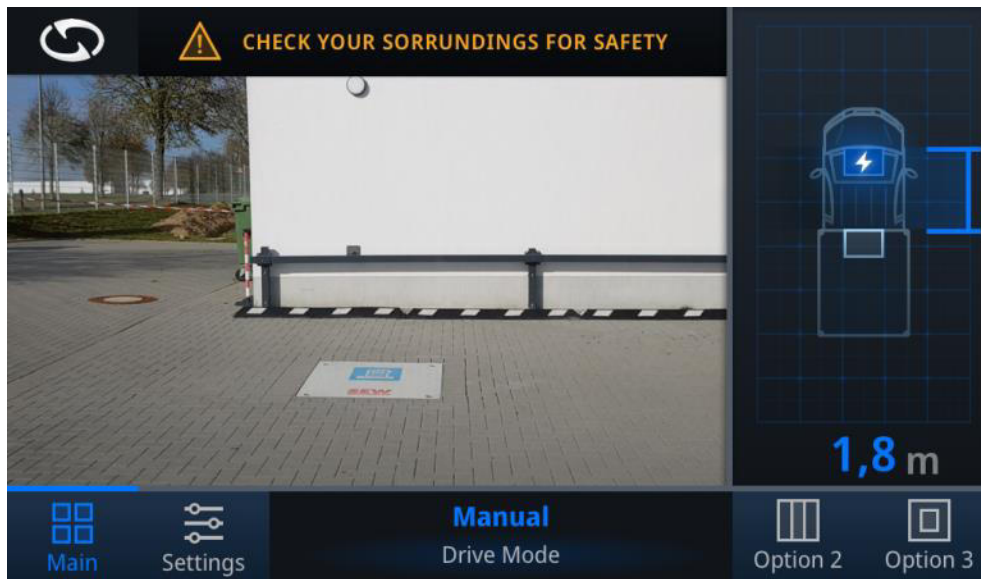


Abbildung 19: Feinpositionierung mit einem Gamification-Ansatz

### Positionierung erfolgreich:

Wenn der Fahrer seine finale bzw. optimale Position erreicht hat, wird er über das Assistenzsystem über seine Positionierung relativ zur Ladespule informiert. Dies

geschieht über eine optische und akustische Bestätigung sowie über eine Anzeige der relativen Genauigkeit in Prozent.

#### **Abbruch:**

Ein Abbruch ist zu jeder Zeit über einen Taster möglich, wenn das System aktiv ist.

#### **Systemfehler:**

Fehler werden im GUI-Status angezeigt und über einen Warnton signalisiert.

Abweichend vom zunächst geplanten rückwärtigen Parkmanöver wurde entschieden, das System für das Vorwärtsparken auszulegen. Diese Entscheidung hatte vor allem praktische Gründe, da die Postzusteller dieses Einparken gewohnt sind und darüber hinaus dadurch das Kamerasystem hinter der Windschutzscheibe in der Fahrerkabine integriert werden konnte. Probleme wie Feuchtigkeit oder Verschmutzung konnten damit von vornherein ausgeschlossen werden.

Für die Feinpositionierung wird ein AR-Tag auf die Hauswand angebracht, was von der Kamera erkannt wird. Nach einer erfolgreichen Konfiguration erkennen das Kamerasystem sowie die dahinterliegende Logik den Abstand zwischen Fahrzeug und der Wand. Aufgrund der eingespeicherten Position von Sekundär- und Primärspule kann die GUI den Abstand anzeigen.

Entgegen der in der Gesamtvorhabensbeschreibung ursprünglich geplanten, während des Parkmanövers automatisch aktuierten Lenkung, was die Aufgaben des Zustellers auf die Betätigung von Gaspedal und Bremse reduziert hätte, wurde ein Fahrerassistenzsystem entwickelt, das dem Zusteller Anweisungen für die korrekte Positionierung liefert. Der Hintergrund dieser Änderung der Umsetzung begründet sich in einer einjährigen erfolglosen Suche nach einer aktuierbaren, mit freigegebener Software bereitgestellten Lenkung. Gespräche mit einer großen Zahl von Lieferanten blieben erfolglos, weshalb eine andere Lösung gefunden werden musste.

### **3.3.3 Testbetrieb**

Für die Vorbereitung des Testbetriebs mussten unterschiedliche Interessengruppen auf Seiten der Deutschen Post mit einbezogen werden. Neben dem Leiter des Zustellstützpunktes Talbotstraße in Aachen wurde Gespräche mit Brandschutzberatern, der Arbeitsmedizin und dem Arbeitsschutz der Deutschen Post geführt.

Rückfragen der Stakeholder galten insbesondere der Einhaltung der *BGI/GUV-I 5111, Anhang 2* und *DGUV Regel 103-014, Anhang 1*. Erstere beschreibt Handlungshilfen für die betriebliche Praxis hinsichtlich der Beeinflussung von Implantaten durch elektromagnetische Felder. Zweitere ist eine Unfallverhütungsvorschrift, die für die Exposition von Menschen durch elektrische, magnetische und elektromagnetische im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 Hz gilt.

Diese Sorgen konnten durch einen Verweis auf den vollständigen InterOp-Abschlussbericht ausgeräumt werden.



Abbildung 20: Geplanter Pilotstandort für das induktive Laden bei der Deutschen Post in Aachen

Dass trotzdem eine Änderung des Anwendungsfalls erforderlich war, wird in den folgenden Abbildungen erläutert.

### Use Case aus Projektantrag

Einsatz der StreetScooter WORK an Zustellstützpunkten der Deutschen Post für die Verbundzustellung

Angedachter Benefit:

- Reduktion von Aufwand für den Zusteller
- Reduktion von Fehlbedienungen des induktiven Ladens

### Use Case des Projekts

Einsatz der StreetScooter WORK im Werksverkehr an den Standorten von StreetScooter und Entwicklungspartnern

Benefit:

- Prüfung der Robustheit der Technologie unter definierten Bedingungen
- Erhebung und Analyse von Daten dank Messequipment zusammen mit Dienstleistern

Abbildung 21: Beschreibung der Use Cases

### Gründe der Anpassung

- Aufgrund Fehlen der aktuierbaren Lenkung wurde Zeitersparnis durch das induktive Laden als zu gering eingeschätzt
- Kostensenkungspotential wurde gegenüber bereits hochskalierter Installation von konduktiver Ladeinfrastruktur nicht gesehen
- Ausfallrisiko der Systeme für den Posteingang zu hoch
- Bedenken über Risiken der Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Brandschutz müssen mit Messdaten ausgeräumt werden

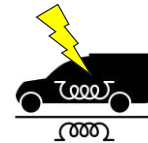


Abbildung 22: Gründe der Use Case Änderung

Die Nutzung des induktiven Ladens im Werksverkehr erlaubt ebenfalls eine Erfüllung der Ziele des Teilvorhabens. Aufgrund des hohen Wachstums von StreetScooter in den Jahren des Projekts wurden eine Vielzahl von Standorten erschlossen (Innovationspark Avantis, Produktionsstandort in Düren, Zentrallager in Niederzier, Testingbereich in Würselen etc.). Ziel von StreetScooter ist es den Verkehr zwischen diesen Standorten vollständig elektrisch möglich zu machen. Da StreetScooter-intern genauso effiziente Logistikabläufe sichergestellt werden müssen, wie es bei der Deutschen Post der Fall ist, bietet die Werkslogistik einen passenden Anwendungsfall. Dank der gesammelten Messdaten können zudem etwaige Vorbehalte der beteiligten Interessengruppen bei Deutsche Post DHL Group ausgeräumt werden.

Das erste Gesamtsystem ist auf dem Innovationspark Avantis realisiert worden. Ein wesentlicher bislang nicht betrachteter Bestandteil sind die infrastrukturseitigen Anpassungen.

Um die Möglichkeit einer guten Rückbaubarkeit zu haben, fanden nach einer anfänglichen Sondierungsphase mit unterschiedlichen Primärspulen-Lieferanten, Abstimmungen mit der IPT Technology GmbH statt. Diese Firma bietet eine Überflurlösung, wodurch kostenintensive Erdarbeiten stark reduziert werden. Abbildung 23 bietet einen Vergleich von Überflur- und Unterflurlösungen.



# Feature comparison for StreetScooter

	On Floor	In Floor	Mix
Gewicht	ca. 50 kg	> 300 kg	> 300 kg
Abmessung	890 x 900 x 36 mm	890 x 900 x 250 mm	890 x 900 x 250 mm
Material	PE1000, SMC möglich	Beton	Beton
Wirkungsgrad	> 91 %	> 91 %	> 91 %
Bodenbearbeitung	nicht notwendig	notwendig	notwendig
Vorbereitungsaufwand	Haushaltssteckdose	Haushaltssteckdose u. Montagearbeiten	Haushaltssteckdose u. Montagearbeiten
Montagezeit	30 Minuten	2 Tage	2 Tage
Aufwand Wartung	gering	gering	gering
Aufwand Reparatur	gering	Spule muss herausgehoben werden	Spule muss herausgehoben werden
Aufwand Rückbau	keiner	Reparatur der Parkfläche	Reparatur der Parkfläche
Druckbelastung	gering	hoch	hoch
Flexibilität	hoch	gering	gering

Abbildung 23: Vergleich von Überflur- und Unterflurlösungen (Quelle: IPT Technology GmbH)

Abbildung 24 zeigt den mit IPT geplanten Aufbau der Überflurspulen. Anders als in einem Unterflurssystem, kann der Einspeisekonverter außerhalb eines Schachts installiert werden.

Dank des aus InterOp stammenden, bereits am Innovationspark Avantis installierten SEW Primärsystem konnten am Standort beide Systeme miteinander verglichen werden und die Interoperabilität der Systeme nachgewiesen werden.

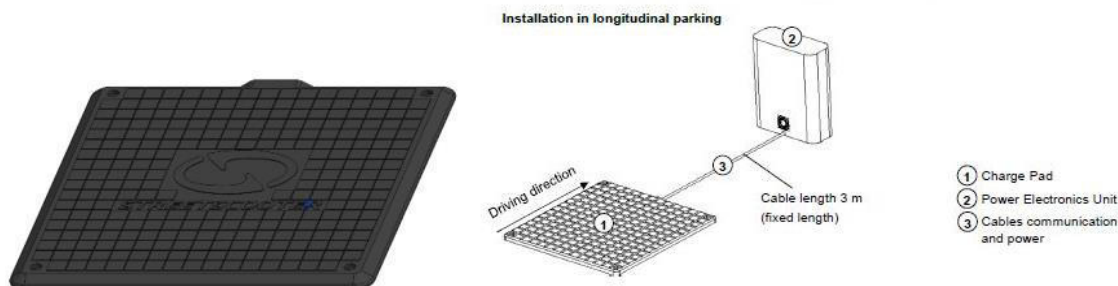


Abbildung 24: Primärspule inkl. Einspeisekonverter

Nach erfolgreicher Inbetriebnahme des Fahrzeugs konnten zunächst Tests mit selbigem und dem SEW System vorgenommen werden. Für die Tests mit dem IPT System wurde daraufhin folgender Aufbau gewählt (Abbildung 25):



Abbildung 25: Testaufbau B16 mit IPT System

Eine anschließende Inbetriebnahme mit dem IPT System war nach anfänglichen Schwierigkeiten ebenfalls erfolgreich, wie der Screenshot aus dem P-CAN Explorer (Abbildung 26) sowie die Messdaten in Abbildung 27 darlegen.

Bus	CAN-ID	DLC	Symbol	Daten	Timeouts	Zykluszeit	Anzahl
1	320h	3	ICCU_Status320h	BMS_reqPwrCharger = 0,0 % ICCU_preCharge = 0 ICCU_relayDCDC = 1 ICCU_relayHV = 1		100,2	32338
1	313h	8	ICM_BCM_Feedback2	Fehler_state = 0 Fehler_typ = 0 (kein Fehler) Ladefreigabe = 1 Ladevoraussetzung = 1 Teilsystem_Bereitschaft = 1 Temperatur = 1 Ueberspannung = -1 Batterieschuetz_Messung = 1 Software_Version = 11 ICCU_Status = 6 ICCU_relayHV = 1 ICCU_relayDCDC = 1		100,0	32382
1	312h	8	ICM_BCM_Feedback	ICM_BCM_stICM = Charge (2) ICM_BCM_stateAblauf = Laden (7 - 0x0F) ICM_BCM_kommunikation = 1 ICM_BCM_nahfeldkopplung = P2PC (1) ICM_BCM_Energiefluss_Timer = 0 ICM_BCM_Energiefluss = Energiefluss ICM_BCM_SDCCstate = Laden (7T oder 7 - 0x0F) ICM_BCM_PDCCstate = Laden (7T oder 7 - 0x0F)		100,0	32382
1	310h	8	BMS_ICM_ChargerControl	BMS_ICM_bChrgEna = 0 BMS_ICM_stBat = charge (0x02) BMS_ICM_uBat = 245 V BMS_ICM_iBat = 11,3 A BMS_ICM_percBat = 22 % BCM_ICM_NoTaus = 0		100,2	36769
1	309h	4	ICCU_ICM_FhrzgStat	01 01 00 01		100,2	32334

Verbindung	Bitrate	Status	Overruns	QXmtFulls	Optio
PCAN_B16@pcan_usb	125 kbit/s		0	0	
PCAN_B14@pcan_usb	500 kbit/s				

Abbildung 26: Screenshot vom P-CAN Explorer - Nachweis des induktiven Ladens mit B16 und IPT System

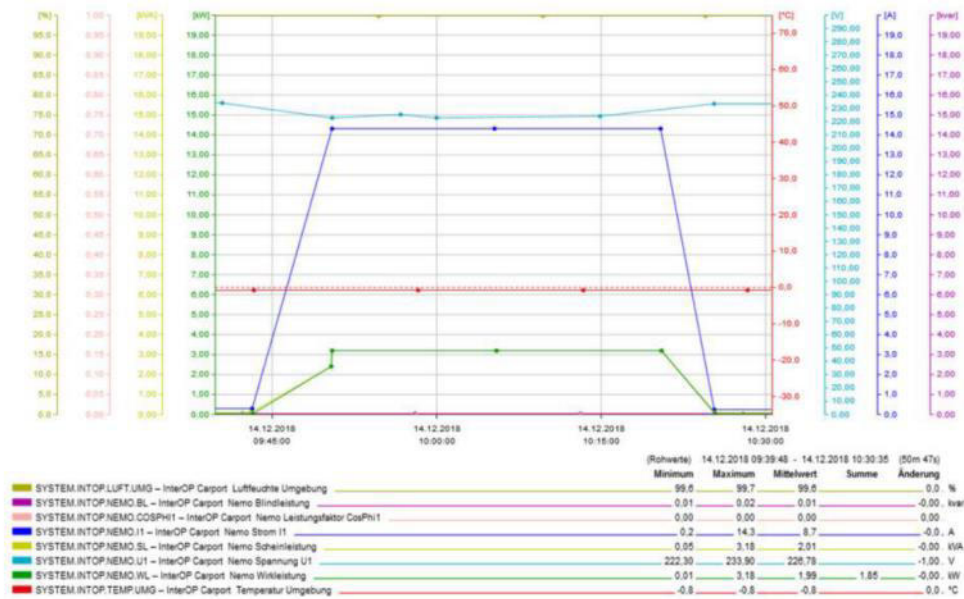


Abbildung 27: Aufgenommene Messwerte (B16 mit IPT System)

Trotz der erfolgreichen Testergebnisse wies das Systems noch nicht die erforderliche Robustheit auf, die für einen effizienten Werksverkehr bei StreetScooter zu gewährleisten ist. Aufgrund dessen geht die Weiterentwicklung des Systems auch über die Projektlaufzeit hinaus weiter, um nach einer einjährigen Testphase fundierte Aussagen treffen zu können. Dafür wurden mit den Projektpartnern regelmäßige Abstimmungen vereinbart sowie unterschiedliche Testszenarien abgestimmt. Das grundsätzliche Feedback zu dem System war sehr positiv, da der Komfortgewinn bei den Testreihen mit unterschiedlichen Personen gut nachzuvollziehen war. Mit dem Fahrerassistenzsystem ist zudem eine Funktion ergänzt worden, die dem derzeitigen Stand der Technik entspricht.

### 3.4 Teilvorhaben 4: Entwicklung einer intelligenten Steuerung des Ladevorgangs

Die Betankung der Fahrzeuge am Standort wird über ein intelligentes Lastmanagement geregelt. Das gesteuerte Laden sichert eine ausreichende Akkuladung der Fahrzeuge für den Zustelleinsatz und sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Stromentnahme am Standort. Die Absenkung dieser Lastspitzen hilft den Aufwand für eine Hausanschlusserweiterung zu reduzieren.

Die Komplexität der Thematik wurde in Abbildung 28 bildlich aufbereitet. Es ist nachzuvollziehen, dass es aufgrund der diversen Engpässe erforderlich ist, eine Ladesteuerung zu konzipieren, die einen zuverlässigen Einsatz von E-Fahrzeugen erlaubt. Für diese Anwendungen waren die Zustellstützpunkte nur in wenigen Ausnahmen ausgelegt. Im Verlauf des Roll-outs der Fahrzeugflotte wurde deutlich, wie wichtig eine

ausführliche Erfassung der verfügbaren Kapazität des Hausanschlusses abzüglich des normalen Hausverbrauchs durch Licht o.ä. ist. Da selbst konservative Annahmen mögliche Lastspitzen, z.B. erhöhte Verbräuche im Winter nicht berücksichtigten, wurde in einigen Fällen die Überspannungs-Absicherung ausgelöst.

Eine wichtige Erkenntnis ist die hohe Relevanz von qualitativ hochwertigen Infrastrukturdaten (Sicherheitwerte, Verteilungsstrukturen o.ä.).



Abbildung 28: Ladesteuerung für Flotteneinsatz

In der Konzeptphase der Ladeleitwarte wurde ein Überblick der Architektur erarbeitet. Die Intelligenz der Ladesteuerung liegt in den Fahrzeugen, die mit zentralen Servern kommunizieren. Dies bietet die Möglichkeit, weniger komplexe und damit günstigere Ladeinfrastruktur zu installieren.

Im Folgenden werden die wesentlichen Funktionen aller relevanten Bestandteile aufgeführt.



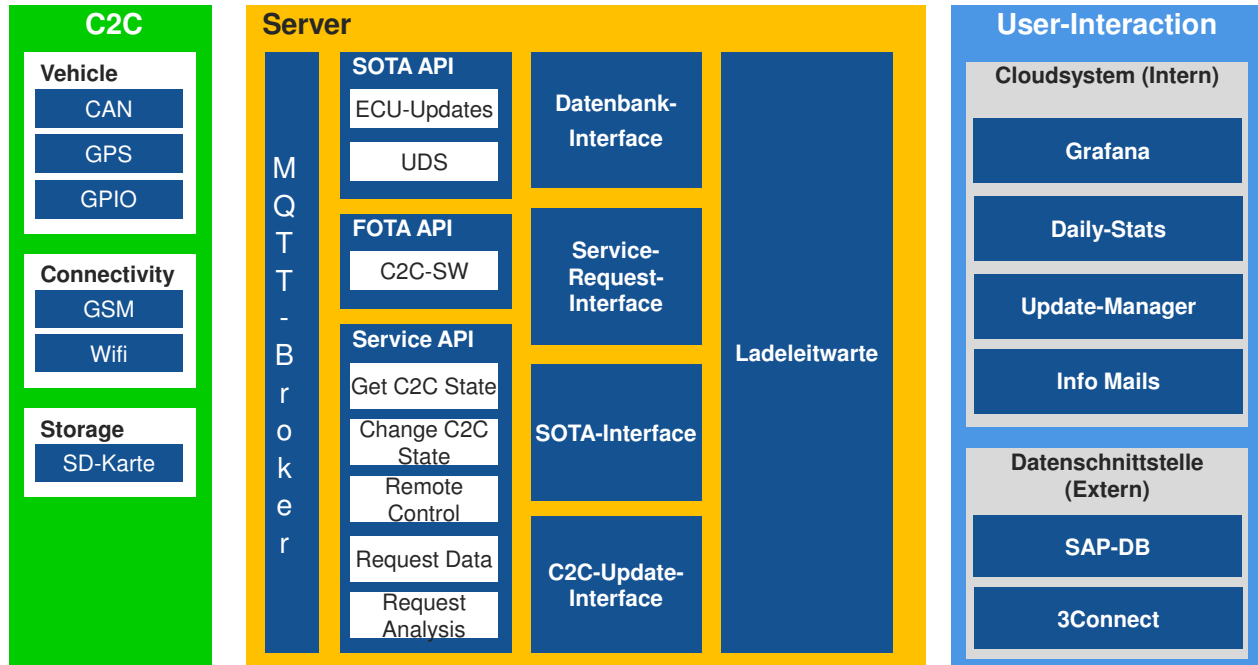


Abbildung 29: C2C<sup>3</sup> Überblick

Die C2C Funktionen dienen dem Sammeln von Daten und der Steuerung von Fahrfunktionen wie die Vorkonditionierung oder das Lade-Zeitfenster. Auf dem Server werden die erhaltenen Daten in einer Datenbank gespeichert.

Die Ladeleitwarte auf dem Server hat insbesondere die Aufgabe, alle Ladevorgänge der Fahrzeuge an den Zustellstützpunkten zu steuern. Das Ziel der Optimierung ist die Minimierung der Ladekosten abhängig von einer Vielzahl von Restriktionen, wie Startzeitpunkt der Zustellung, Temperaturen usw. Das Ergebnis der Berechnung sind Ladeleistungen, die die Leitwarte den einzelnen Fahrzeugen zuweist (siehe Abbildung 30).

<sup>3</sup> Car2Cloud: Kommunikation des Fahrzeugs mit einem zentralen Server

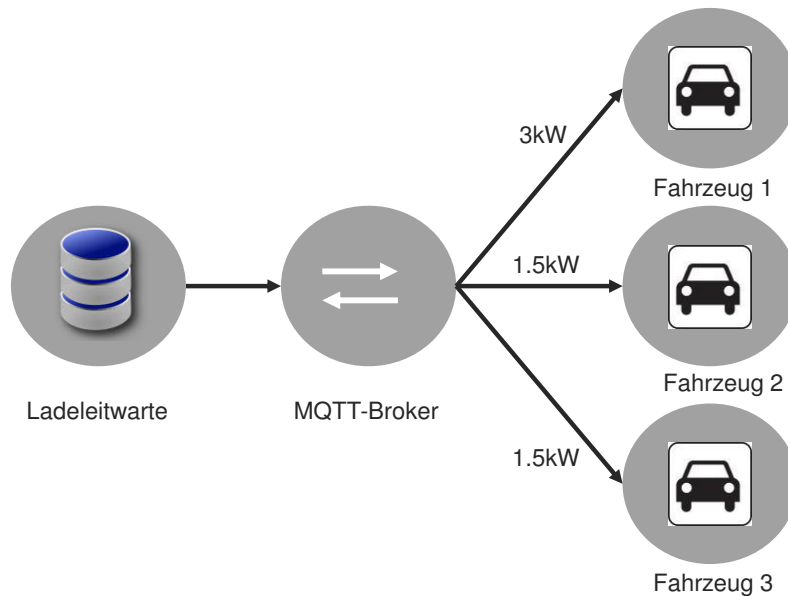


Abbildung 30: Vorgabe von Ladeleistungen durch die Ladeleitwarte

Während des Rollouts der Zustellflotte fielen jedoch unvorhergesehene Zustände auf, die zur Definition einer Rückfall-Strategie führten. So kann beispielsweise die Tatsache, dass ein Fahrzeug keine Verbindung zum Server hat dazu führen, dass es nicht geladen wird. Daher wurden Rückfall Ladezeitfenster festgelegt, in denen bestimmte Fahrzeuge laden, während andere nicht laden dürfen, um den Netzanschluss des Standorts nicht zu überlasten.

Ein wichtiger Teil der Entwicklung war es sicherzustellen, dass die Intelligenz nicht von externen Instanzen manipuliert werden kann, wodurch beispielsweise der reibungslose Ablauf des Ladens behindert werden könnte. Aus diesem Grund wurden sogenannte Penetrationstests durchgeführt, die die Robustheit des Systems gegen Zugriffe von außen nachweisen konnten.

Die Berechtigungen für das Lademanagement sind in einem Rollensystem organisiert. Die Verantwortlichen der Niederlassung erhalten eine Einweisung in die Ladeleitwarte und können die Fahrzeuge darüber den jeweiligen Ladesäulen zuordnen. Die Ladeleitwarte ist ein Server, der erkennt, welches Fahrzeug der Marke StreetScooter welcher Ladesäule zugeordnet worden ist. Sollte ein Fahrzeug an eine andere als die in der Ladeleitwarte hinterlegte Ladesäule angeschlossen werden, kann der Ladevorgang nicht ausgeführt werden. In diesem Fall wird die Ladung durch die Rückfall-Strategie abgesichert.

Die Zuordnung der Fahrzeuge zu den Ladesäulen erfolgt in einem dafür programmierten Web-Interface, welches ein festes Rollensystem besitzt und sichergestellt, dass je nach Aufgabe (Auslieferung bei StreetScooter, Zustellstützpunktleiter, Entwicklungsmitarbeiter

o.ä.) nur eingeschränkte Zugriffsrechte erteilt werden. So kann beispielsweise der Zustellstützpunktleiter eines ZSP nicht die Zuordnung der Fahrzeuge an einem anderen Stützpunkt einsehen oder verändern.



**STREETSCOOTER**

Rolle: Zentrale Eingeloggt als sarah gross

Home **Liste aller Fahrzeuge exportieren (temporär)** Mobilitätsplanung hochladen Anzeige Mobilitätsplanung

### Als CSV Datei exportieren

Bitte wählen Sie die benötigten Spalten.  
(keine Auswahl = leere Spalte)

Noch nicht ausgelieferte Fahrzeuge miteinbeziehen  
 Fahrzeuge im Ausland miteinbeziehen  
 Drittkundenfahrzeuge miteinbeziehen

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8	Spalte 9	Spalte 10
AKZ	Niederlassung	ZSP	IKZ	VIN	Ladepunkte	Lieferdatum	Fahrzeug V		

Abbildung 31: Auszug aus dem StreetScooter-Cloud-System

Während der Projektlaufzeit wurde deutlich, welche essentielle Bedeutung dieses Lademanagement besitzt. Im privaten Umfeld reicht in der Regel der Anschluss in der Garage. Für einen Flottenbetreiber wie die Deutsche Post ist dies jedoch bei Weitem nicht ausreichend. Die Ladeleitwarte und die damit verbundenen Funktionen machten einen bundesweiten Einsatz der StreetScooter in der gewünschten Geschwindigkeit überhaupt erst möglich. Zusätzliche Funktionen, wie die Vorkonditionierung haben darüber hinaus die Akzeptanz der neuen Flotte unter den Zustellern stark steigern können, da es sich um eine Funktion handelt, die bisherige konventionelle Fahrzeuge nicht ohne zusätzliche Komponenten anbieten können und einen hohen Mehrwert bietet.

Neue Standorte, die von der Deutschen Post erschlossen werden, müssen als Selektionskriterium einen ausreichend dimensionierten Hausanschluss besitzen und eine vollständige Elektrofahrzeug-Integration zulassen. Da jedoch überwiegend Bestandsimmobilien ausgestattet werden, ist die Ladeleitwarte für die kommenden Jahre von hoher Relevanz. Mit der Einführung des Modells WORK XL gewinnt die Ladestrategie weiter an Bedeutung, um einen nochmals größeren Akku in den verfügbaren Zeitfenstern vollständig zu laden.

Nach Erschließung des Drittkundenmarktes wurde deutlich, dass auch andere Flottenbetreiber ähnliche Herausforderungen haben und damit im Rahmen einer

Verwertung der Projektergebnisse eine Produktentwicklung auf Grundlage der intelligenten Ladesteuerung eine denkbare Option darstellt.

### **3.5 Teilvorhaben 5: Steigerung der Energieeffizienz der elektromobilen Zustellflotte**

Eine Steigerung der Energieeffizienz der Fahrzeugflotte kann aus unterschiedlichen Gesichtspunkten betrachtet werden. Auf der einen Seite stehen organisatorische Maßnahmen, um Reichweiten zu verlängern oder generell die Einsatzzeit zu erhöhen, auf der anderen Seite stehen technische Entwicklungen, die eine Verbesserung der spezifischen Energieeffizienz zum Ziel haben. Dieses Teilvorhaben betrachtet das Zusammenspiel beider Bereiche.

#### **3.5.1 Clusterung von Hardware- und Softwarekonfigurationen**

Aufgrund der stark wachsenden Stückzahl und dem Versuch „Second Sources“ im Lieferantenmanagement zu erschließen, war es notwendig, unterschiedliche Hardware- sowie Softwarekonfigurationen einzuführen. Die stark wachsende Komplexität, die damit einhergeht, muss insbesondere mit geeigneten Softwaretools gestützt werden. Die Verkettung von Anforderungsmanagement, Konzeptentwicklungen, Prototypenbau bis hin zur Industrialisierung und Überführung in die Serie erfordern definierte Übergabepunkte von Informationen, an denen Medienbrüche vermieden werden müssen. Die bei StreetScooter für diesen Zweck eingesetzten Systeme sind in Abbildung 32 abgebildet.

Die Entwicklung dieser Durchgängigkeit ist von entscheidender Bedeutung für die Realisierung unterschiedlicher Fahrzeugkonfigurationen. Alleine in der Softwareentwicklung wird eine Toolchain benötigt, die es ermöglicht die Konfigurationen der unterschiedlichen Steuergeräte vorzunehmen und daraus einen Gesamtverbund zu generieren. Wichtig ist stets zu berücksichtigen, für welche Fahrzeugkonfigurationen welche Softwareversionen benötigt werden. Ist eine Konfiguration obsolet, weil beispielsweise ein Lieferant eine Komponente abkündigt, hat dies Implikationen auf alle Entwicklungsumgebungen. Umso wichtiger ist ein regelmäßiger Rückfluss von dem Lieferantenmanagement in die Entwicklung.

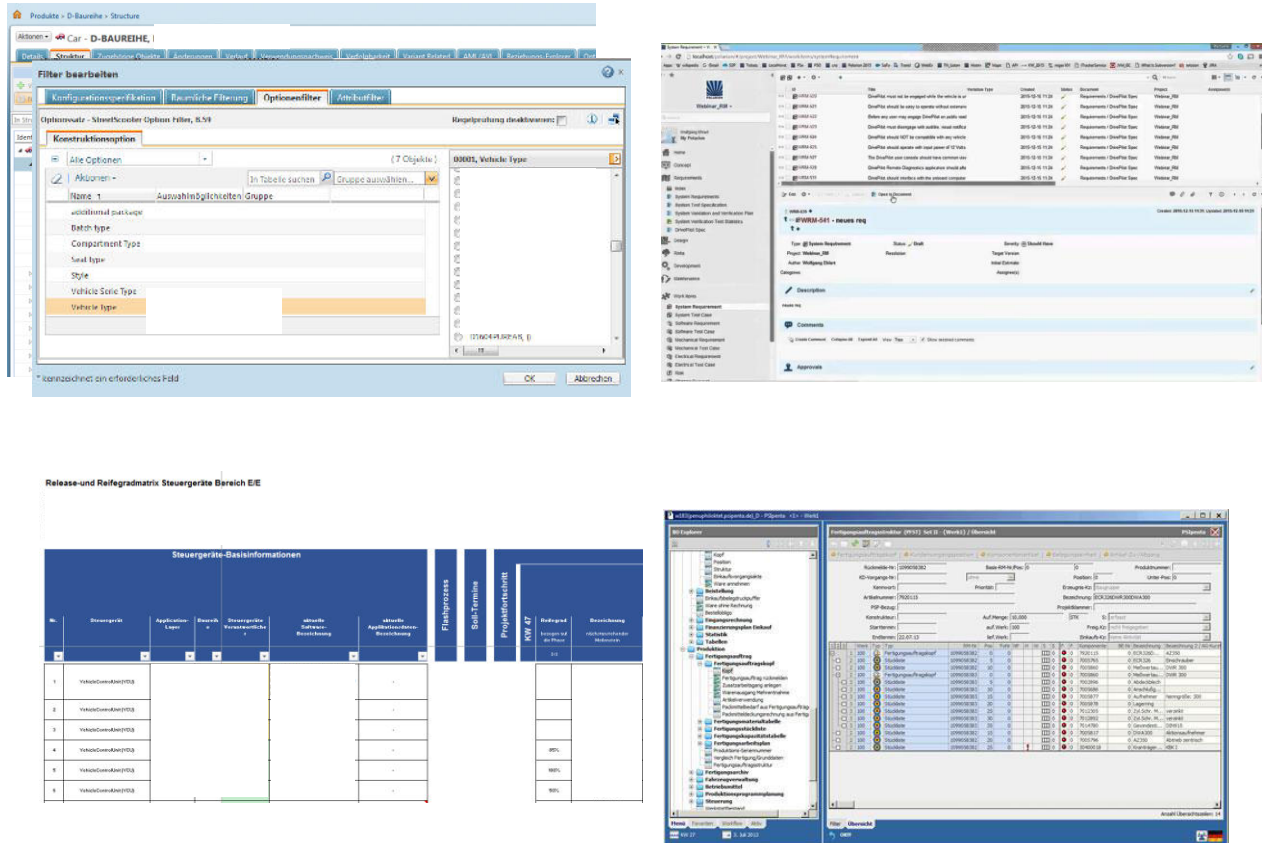


Abbildung 32: Systemübersicht

Der Aspekt der Energieeffizienz kommt bereits zu Beginn des Entwicklungsprozesses zum Tragen, an dem die Anforderung an ein System, beispielsweise ein Fahrzeug, definiert werden. Sobald eine Kundenanforderung lautet, dass die Reichweite des Fahrzeugs unter bestimmten Bedingungen mindestens einer bestimmten Kilometeranzahl entsprechen soll, muss bei jeder Funktionalität, die eingeplant ist, geprüft werden, ob diese Reichweite weiter erfüllbar ist. Im Falle der Deutschen Post wurden die Zusteller früh in den Entwicklungsprozess mit eingebunden, um allen Post-spezifischen Anforderungen gerecht zu werden.

Die Entscheidung, welche Fahrzeugvarianten an welchen Orten eingesetzt werden, wird vor allem mithilfe der Betrachtung örtlicher Begebenheiten getroffen. In Regionen, mit höherem Paketmengenwachstum werden die Modelle WORK L früher angefordert als es in weniger gefragten Regionen der Fall ist.

Regionen, in denen es Routen mit hohem Aufkommen und andere mit geringem Aufkommen gibt, erhalten einen entsprechenden Mix aus Fahrzeugmodellen. Mit der größeren 40 kWh Batterie, die im letzten Jahr des Projektzeitraums eingeführt wurde, konnten zudem weitere Zustellrouten erschlossen werden, bei denen bisherige Fahrzeugvarianten nicht ausreichend waren. Im Projekt wurde im Zuge der Einführung dieser Batterie eine Datenbasis hinsichtlich verschiedener Batteriesysteme geschaffen.

Sowohl Batterien, die bereits seit einem längeren Zeitraum in Fahrzeugen verwendet werden, als auch neue Batterien und Batterietechnologien befinden sich im Einsatz. Mithilfe zur Verfügung stehender Fahrzeugdaten können nun Auswertungen für die unterschiedlichen, sich nun im Einsatz befindlichen Fahrzeuge und Batterien vorgenommen werden. Wie 2017 öffentlich bekannt wurde, bezieht StreetScooter für einige Fahrzeugvarianten die Batteriemodule bei BMW. Derzeit verfügen diese über eine Kapazität von 33 kWh, wodurch eine weitere Variante geschaffen wurde.

### 3.5.2 Temperierung

Zur Verbesserung der Nutzbarkeit sowie der Energieeffizienz von Elektrofahrzeugen muss nicht zuletzt die Frage der Temperierung und Klimatisierung der Fahrerkabine thematisiert werden.

Dank der sich bereits im Einsatz befindlichen Fahrzeuge aus dem Vorgängerprojekt „CO<sub>2</sub>-freie Zustellung in Bonn“ konnten wertvolle Erkenntnisse dank Nutzerbefragungen der Zusteller erlangt werden. Diese dienten im Projektzeitraum als Grundlage der Weiterentwicklung von effizienzsteigernden Maßnahmen. Grundsätzlich wurden vier Themenschwerpunkte definiert, in denen Optimierungen vorgenommen werden mussten (siehe Abbildung 33).

**Maßnahmen:** Zusammen mit der DPAG wurden vier Maßnahmen definiert, die über eine Nachrüstung in die Fahrzeuge Einzug halten sollen

- 1) Wärmeisolierter Fußraum
- 2) Erhöhung der Luftzufuhr im Fußfahrerraum
- 3) Optimierung der Scheibentrocknung
- 4) Integration einer Lenkradheizung

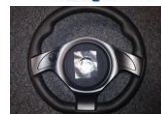
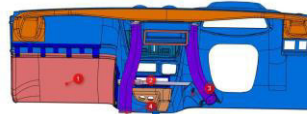
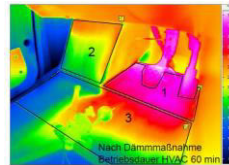


Abbildung 33: Definierte Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz

Mittels Thermographie konnte festgestellt werden, dass der Fußraum und die Rückwand der Elektrofahrzeuge als besonders starke Wärmesenken fungieren, wodurch die Temperierung des Innenraums sehr ineffizient ist. Damit wurde klar, dass sich erste Maßnahmen damit beschäftigen müssen, diese Senken zu reduzieren. In Versuchsreihen wurden Dämmmaterialien an die entsprechenden Flächen geklebt. Wie Tabelle 2 zeigt, waren diese recht einfach umzusetzenden Maßnahmen erfolgreich. So konnte beispielsweise die Oberflächentemperatur der Fußablage von minimal 5,3°C auf 11,4°C gesteigert werden.



Bereich	Minimale Oberflächentemperatur $T_{\min}$ in °C		Mittlere Oberflächentemperatur $T_{\text{Mittel}}$ in °C	
	Vor Dämmung	Nach Dämmung	Vor Dämmung	Nach Dämmung
Pedalbereich (1)	20,1	24,6	24,6	30,0
Fußablage (2)	5,3	11,4	16,6	20,0
Hauptbereich (3)	5,5	8,8	17,4	20,0

Tabelle 2: Ergebnisse der Dämmung

Die zweite Maßnahme konnte durch die Verlegung eines zusätzlichen Wärmeluftschlauches aus dem Beifahrerfußraum, welcher für die Postzusteller nicht relevant ist, auf die Fahrerseite umgesetzt werden. Auf der Beifahrerseite der StreetScooter in Postkonfiguration für die Verbundzustellung befinden sich die sogenannten Briefbehälter-Halterungen. Dabei handelt es sich um Metallgestelle, die mehrere Schwingen fassen können.

Die dritte Maßnahme war die Neuentwicklung der Defroster, also der Luftausströmer unmittelbar an der Frontscheibe. Durch die Wahl einer neuen Ausströmer-Geometrie konnte eine deutlich verbesserte Luftverteilung an der Frontscheibe erreicht werden. Das Ergebnis ist eine gleichmäßigere und großflächigere Beheizung der Scheibe. Dadurch wird der Beschlag auf der Frontscheibe deutlich effizienter entfernt. Zur Veranschaulichung folgen Ergebnisse der Entwicklung in Abbildung 34. Kombiniert mit der vorhandenen elektrischen Scheibenheizung, wird das Beschlagen der Frontscheibe auch bei hoher Luftfeuchte verhindert.

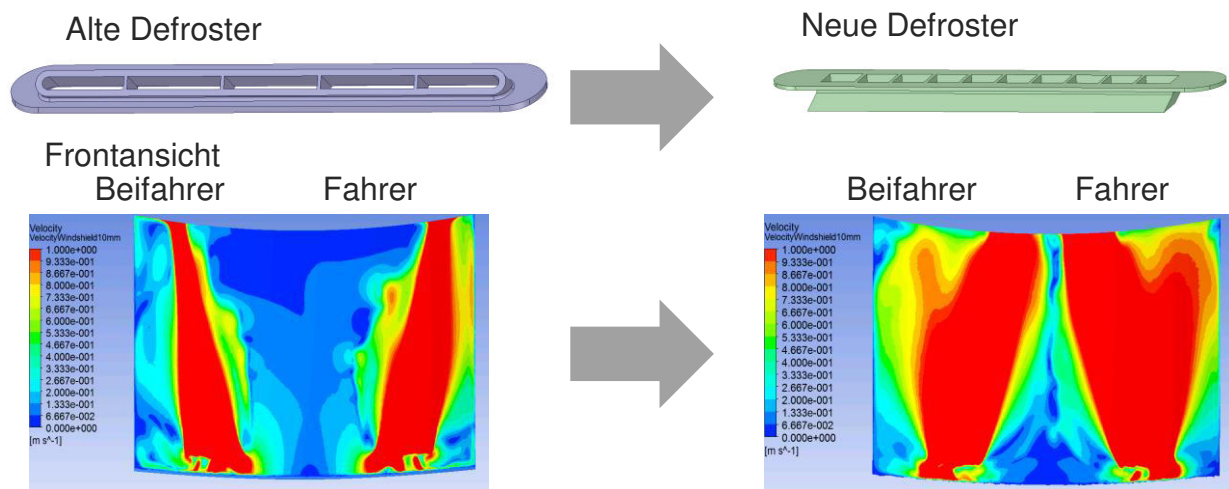


Abbildung 34: Verbesserung der Defroster

Die Integration einer Lenkradheizung rundet das Gesamtpaket ab und sorgt für einen gesteigerten Komfort für den Zusteller.

Das Maßnahmenpaket wurde flächendeckend umgesetzt und mit einer Befragung der Zusteller begleitet. Der niedrigere Verlust durch den Wärmedurchgang, die

Wärmestrahlung, die verbesserte Anströmung, die Verbesserung der Heizleistung und durch die Steigerung des lokalen thermischen Empfindens führte gemäß Abbildung 35 zu folgenden positiven Befragungsergebnissen.

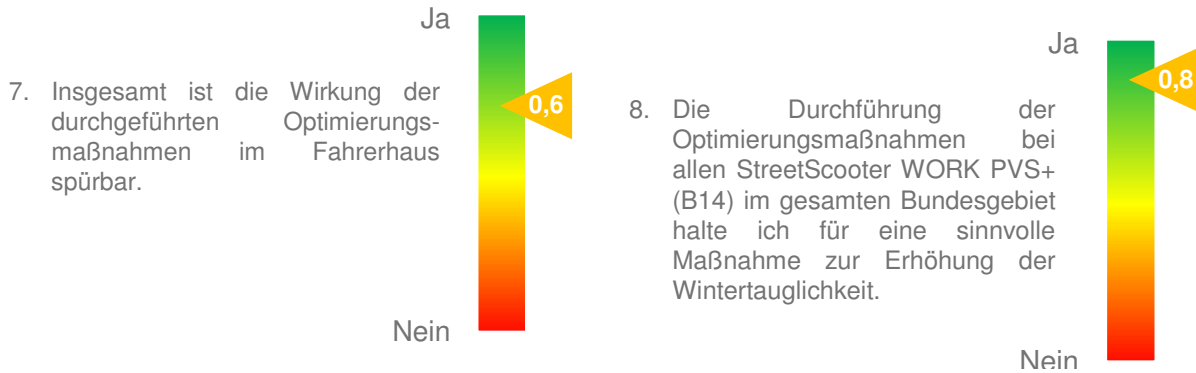


Abbildung 35: Ergebnis der Befragung

Die Erkenntnisse, die mit den Fahrzeugen aus dem Vorgängerprojekt erlangt wurden, werden künftig weitergenutzt, um systematisch die Maßnahmen in neue Fahrzeuge mit aufzunehmen. Eine vorliegende Analyse des StreetScooter B16 zeigt, dass es auch bei diesem Modell aktuell drei Bereiche gibt, bei denen ein gesteigerter Wärmeverlust vorliegt. In Abbildung 36 werden diese durch eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenwand der betrachteten Fläche dargestellt

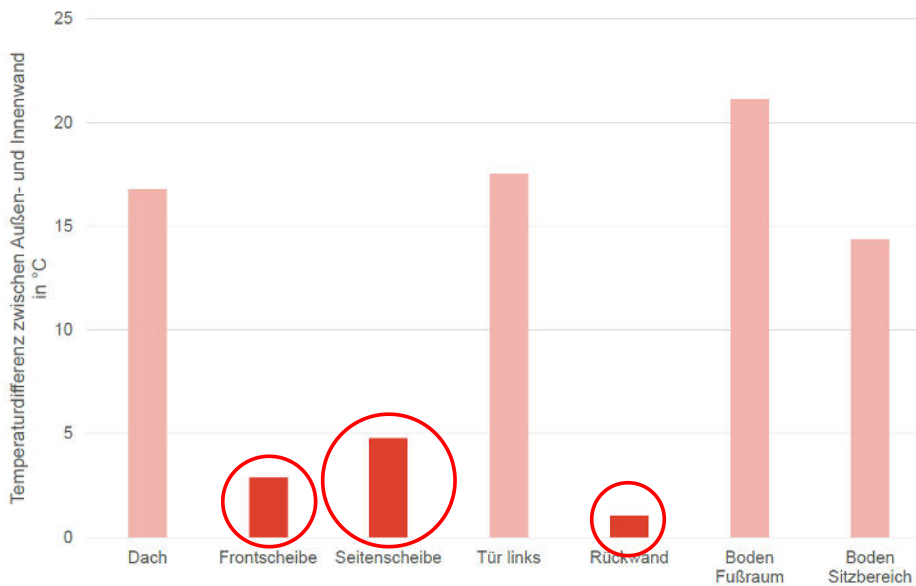


Abbildung 36: Regionen mit Wärmeverlust

Ein weiteres Feld der effizienzsteigernden Maßnahmen ist die Nutzung von Flächenheizungen in den Interieur-Komponenten des Fahrzeugs. Diese verbessern das Wärmeempfinden durch körpernahes Heizen und durch einen niedrigeren Wärmeverlust



des Körpers an die Umgebung. Im Vergleich zu Luftheizern sind weiterhin die Energieverbräuche um etwa einen Faktoren 10 geringer (300 W vs. 3.000 W). Die geringen Kosten, die gute Integrierbarkeit in Bauteile sowie in bestehende Produktionsprozesse erhöhen den Nutzen zusätzlich.

Im Falle der StreetScooter Modelle wurden zwei Interieur-Komponenten ausgewählt, die für den prototypischen Betrieb verwendet werden sollten (Abbildung 37).



Abbildung 37: Türseitenverkleidung und Mittelkonsole

Die Thermographien zeigen, dass die Temperaturen dank der Beheizung der beiden Komponenten signifikant steigen. Aufgrund der unmittelbaren Nähe entsteht beim Fahrer der Eindruck eines geschützten thermischen Kokons, obgleich die Lufttemperatur im Fahrzeug deutlich geringer ist als vermutet.

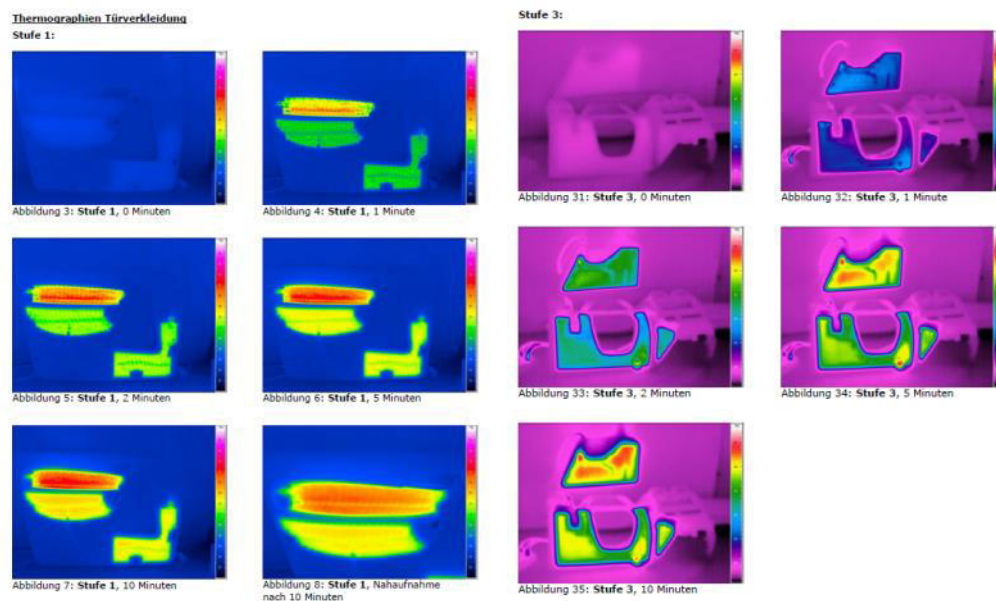


Abbildung 38: Thermographien der Interieur-Teile

Die Nutzung dieser Flächenheizungen, die konsequente Dämmung von Flächen mit hohen Wärmeverlusten sowie die Berücksichtigung der anderen dargestellten Maßnahmen führen zu einem Gesamtpaket, das den Komfort bei gleichzeitig verbesserter Energiebilanz steigert. Reichweitenängste im Winter sind Herausforderungen, die damit ganz klar adressiert wurden.

Die Integration und Testing von StreetScootern mit Klimaanlage ist ein weiterer wichtiger Bestandteil dieser Agenda. Die Tests sind derzeit weiter im Gange. Mit Ergebnissen ist im Rahmen der Projektverwertung Ende 2019 zu rechnen.

### 3.6 Teilvorhaben 6: Optimierung des Flotten--CO<sub>2</sub>-Footprints durch Steigerung der Fahrzeugnutzungsdauer

Das Teilvorhaben 6 besteht aus Maßnahmen, die mittelbar oder unmittelbar zu einer Steigerung der Fahrzeugnutzungsdauer und damit zu einer Reduktion des CO<sub>2</sub>-Footprints führen.

Für die Deutsche Post ist die operative Verfügbarkeit von großer Bedeutung, also die Einsatzfähigkeit der Zustellflotte. Der Einsatz neuer Fahrzeuge birgt somit stets ein gewisses Risiko, da nicht absehbar ist, ob dieses Modell ebenso verfügbar ist.

Die Nutzungsphase eines Fahrzeugs wird in der Regel durch folgende Ereignisse reduziert.

- Ungeplante Werkstattaufenthalte (z.B. Reparatur von Unfallschäden)
- Geplante Werkstattaufenthalte (z.B. Wartung)

Eine Nichtverfügbarkeit von Fahrzeugen erfordert den Einsatz von Ersatzfahrzeugen, wodurch Kosten entstehen und sich die CO<sub>2</sub>-Bilanz der Flotte verschlechtert.

Die Verbesserungen von Fahrzeugfunktionen an Fahrzeugen, die bereits im Feld sind, beschränken sich heutzutage häufig auf Softwareanpassungen. Eine Erhöhung der Nutzungsdauer der Fahrzeuge kann demnach dadurch erzielt werden, dass einige Updates ohne Werkstattaufenthalte möglich werden.

Dieser Ansatz wurde in dem vorliegenden Teilvorhaben 6 verfolgt und zur Umsetzung gebracht. Es wurde eine passende Systemarchitektur der Steuergeräte entworfen, die es erlaubt, auf sehr sicherem Wege Softwareänderungen als SOTA (Software over the Air) während des Betriebs auf die Fahrzeuge zu bringen. Grundvoraussetzung für die Entwicklung war ein eigensicheres Steuergerät, mit dem durch unterschiedliche Schutzmechanismen eine externe Manipulation ausgeschlossen wird.

Dank verfügbarer Daten konnten zudem Erkenntnisse hinsichtlich der Ausfallhäufigkeit spezifischer mechanischer und elektrischer Komponenten bei im Einsatz befindlichen Fahrzeuge gesammelt werden.

Eine breite Datenbasis mit einem effizienten Werkstattnetz dient bereits im Alltag bei StreetScooter dazu, Ausfallmuster von Fahrzeugen zu identifizieren und geeignete Gegenmaßnahmen im Feld zu definieren.

Eine wesentliche Herausforderung, ist die Güte der gesammelten Daten. Somit ist es aktuell nicht ohne weiteres möglich, für eine große Anzahl von Fahrzeuge die Ursachen für Ausfälle oder Standzeiten zu analysieren. Häufig ist es nach wie vor notwendig,

Telefon- oder Vorort-Termine mit Werkstätten und den Zustellstützpunkten zu vereinbaren. Durch die Eigenentwicklung eines Aftersales Management Systems, das von den Werkstätten mehr und mehr eingesetzt wird, stehen immer umfangreichere Daten wie Werkstattaufträge und Reparaturdauern zur Verfügung. Ein klares Bild, welche Probleme im Feld zu einer geringeren Fahrzeugnutzung führt, wird dadurch nach und nach sichtbar. Für kritische Ausfallsituationen wurden im Projektzeitraum gezielte Maßnahmen entwickelt, die die Fahrzeugausfälle stark reduziert haben.

Über Ferndiagnose ist es bislang für den StreetScooter Aftersales möglich, sogenannte Traces zu ermitteln. Diese enthalten Informationen des Diagnose-Protokolls für das untersuchte Fahrzeug. Diese Protokolle geben einen wichtigen Hinweis darauf, welche möglichen Probleme bei einem analysierten Fahrzeug aufgetreten sind.

Die genannten Entwicklungen haben ein großes Potential, den CO<sub>2</sub>-Footprint der Flotte langfristig zu reduzieren. Es wurden wesentliche Herausforderungen des Flotteneinsatzes adressiert. Dank der Pilotierung in diesem Projekt sind nun Maßnahmen vorhanden, Ausfallzeiten systematisch zu reduzieren.

## SOC-Analyse

Hinsichtlich der Analyse der Alterungserscheinungen von Batterien wurden Testprofile festgelegt, die sich in der zur Verfügung stehenden Energie je Zelle, der Anzahl von Ladungen und Entladungen sowie Umgebungstemperaturen unterscheiden. Es haben Labortests stattgefunden, die Rückschlüsse auf die Korrelation zwischen den einzelnen Parametern und dem State-of-Health der Batterien zulassen.

Eine Auswertung der Analyse verschiedener Zellen können der folgenden Auswertung entnommen werden:

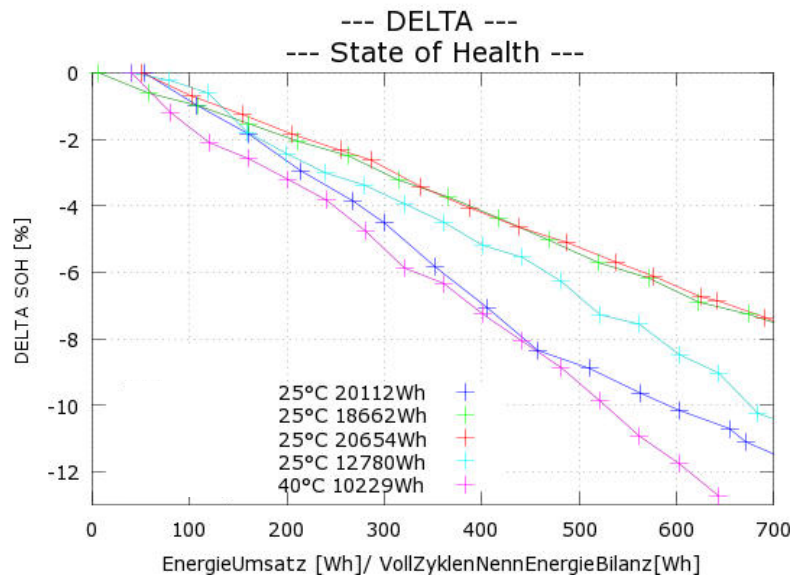


Abbildung 39: Untersuchung des State-of-Health

Die Tests lassen den Schluss zu, dass eine höhere Umgebungstemperatur zu schneller Alterung führt. Zudem altern Zellen, die mit Fahrprofilen (Postzyklus) getestet wurden, schneller als die mit konstanten Entladeströmen. Dies liegt insbesondere daran, dass sich beim Postzyklus Lade- (Rekuperation) und Entladevorgänge ständig wiederholen. Weiter kann die Erhöhung des Innenwiderstands mit der Zyklisierung festgestellt werden, es werden zudem verschiedene Formen des Innenwiderstandes berechnet.

### 3.7 Teilvorhaben 7: Datenerhebung und technische Evaluation

#### 3.7.1 Aufbereitung der wesentlichen Fragestellungen

Die übergreifende Aufgabe des PEM liegt in der Datenauswertung und -analyse. Hierzu wurden vom PEM in enger Abstimmung mit DPDHL und StreetScooter zunächst fahrzeugseitige und logistische Fragestellungen definiert, die anhand der in diesem Projekt gesammelten Daten beantwortet werden sollen. Ziel von DPDHL und StreetScooter ist es, die Erkenntnisse dieser empirischen Untersuchung jeweils in ihre Produktions- bzw. Logistikprozesse einfließen zu lassen, um so den elektromobilen Zustellprozess zu optimieren. Eine detaillierte Übersicht der Fragestellungen wurde von PEM erstellt, in der ebenso erkenntlich ist, welche Methoden und Datenquellen zur Beantwortung genutzt werden. Darüber hinaus wurde ebenso der Nutzen identifiziert, der durch die Bearbeitung der jeweiligen Themenbereiche für DPDHL und StreetScooter entsteht. Dieser Fragenkatalog dient DPDHL und StreetScooter nun als Basis zur Datenerhebung und -aufbereitung.

Eine beispielhafte Fragestellung, die sowohl für den Fahrzeughersteller als auch für den Logistikbetreiber interessant ist, ist die Darstellung des Verlaufs des Batterieladezustands (SOC-Verlauf) in Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen. Fahrzeugseitig ist es hierbei zum Beispiel bedeutsam, wie sich der SOC-Verlauf im Sommer von dem im Winter unterscheidet. Da die Leistung der Batterie abhängig von der Temperatur ist und die Nutzung von einigen Nebenaggregaten (Heizung, Klimaanlage etc.) je nach Temperaturverhältnissen variieren kann, hat die Temperatur einen unmittelbaren Einfluss auf die Reichweite des Zustellfahrzeugs. Es bleibt jedoch statistisch zu ergründen, wie hoch dieser Einfluss ist. Außerdem wurde für einen effizienten Logistikprozess ein anderer Themenbereich identifiziert, der der Frage nachgeht, inwiefern die Einteilung der Zustellbezirke (Größe, Straßencharakteristik etc.) an den SOC-Verlauf angepasst werden und somit weiter optimiert werden kann. Haben einige Zustellfahrzeuge nach Beenden ihrer Schicht einen ausreichend hohen Batterieladestand, könnte mit diesen Fahrzeugen zum Beispiel eine zweite Schicht gefahren werden. Ist jedoch bereits vor Fahrtbeginn bekannt, welchen Batterieladezustand das Zustellfahrzeug nach Beenden des Zustellprozesses hat, kann dies in die logistische Planung miteinbezogen und somit der logistische sowie zeitliche Aufwand deutlich reduziert werden.

Weitere beispielhafte Themen- und Fragestellungen und die für die Beantwortung erforderlichen Daten zeigt folgende Tabelle:

Thema	Fragestellungen
<b>Korrelation zwischen Rekuperation und Bremsverschleiß</b>	Inwiefern korreliert der Bremsverschleiß mit der Rekuperation des Fahrzeugs? Wie hoch ist das Kosteneinsparpotential durch reduzierte Betriebskosten? In welchem Maß sind die Wartungskosten von der Topographie abhängig?
<b>Einfluss der Nebenverbraucher</b>	Wie hoch ist der Einfluss der einzelnen Nebenverbraucher im Fahrzeug auf die Reichweite der Batterie? Inwiefern variiert der Einfluss mit der Außentemperatur? Welche Reichweite kann durch eine Reduzierung der Nebenverbraucher realisiert werden?
<b>Track and trace</b>	Kann auf Basis der Handscannerdaten (Dauer einer Paketauslieferung) ein Prognosemodell für einen Auslieferungszeitpunkt von Paketen erstellt werden? Wie genau ist die Abschätzung im Laufe des Tages?

Tabelle 3: Exemplarische Fragestellungen und Themenbereiche

### 3.7.2 Detaillierte Untersuchung des Zustellprozesses anhand von Begleitfahrten

In Zusammenarbeit mit DPDHL wurden von Mitarbeitern des PEM im August 2016 Begleitfahrten durchgeführt, um den Arbeitsablauf eines Zustellprozesses zu erfassen und diesen durch die Zerlegung in einzelne Arbeitsschritte zeitlich zu quantifizieren. Die Begleitfahrten wurden in Birkesdorf (Stadtteil von Düren) realisiert, da dort sowohl elektrische als auch konventionelle Zustellfahrzeuge zur Verfügung stehen und zusätzlich die Nähe zum Standort des PEM gegeben ist. Die Beobachtungen bei der Vorbereitung, die eigentliche Zustellung und die Nachbereitung wurden entsprechend dokumentiert und sollen in den folgenden Absätzen detailliert erläutert werden.

Die Vorbereitung besteht aus mehreren Teilschritten. Zunächst werden die Briefe vom Zusteller nach Straßen und Häusern sortiert und in ihre entsprechenden Fächer gelegt. Die Briefe werden anschließend nach ihrer Gangfolge in Boxen verstaut und auf dem Beifahrersitz des Zustellfahrzeugs deponiert. Der zeitliche Aufwand für die Vorbereitung der Briefe beträgt insgesamt ca. 1,5 Stunden. Die Sortierung der Pakete geschieht mit einem Handscanner, der die Pakete nach ihrer Gangfolge anzeigt. Die Ladefläche des Zustellfahrzeugs wird vom Zusteller mit den Paketen beladen, wobei die Gangfolge der Pakete nur grob berücksichtigt wird. Der letzte Schritt der Vorbereitung besteht aus dem



Einladen der Pakete, die auf einem Rollwagen bereitgestellt werden. Die Dauer der Paketvorbereitung beläuft sich auf ca. 0,5 Stunden, wodurch sich für die gesamte Vorbereitung ein Zeitaufwand von ungefähr 2 Stunden ergibt.

Die Zustellung beginnt mit der Fahrt zum Zustellbezirk. Die eigentliche Auslieferung der Briefe und Pakete geschieht dabei in getrennten Schritten. Dabei ist es dem Zusteller selbst überlassen, auf welche Art und Weise er die Zustellung vornimmt. Die Wahl der Zustellungsart ist dabei stark von äußeren Bedingungen wie dem Verkehrsaufkommen und der durchschnittlichen Entfernung zwischen den Häusern im Zustellbezirk abhängig. Abbildung 40 zeigt exemplarisch, wie die Zustellung von Briefen und Paketen ablaufen kann bzw. wie sie von PEM beobachtet wurde.

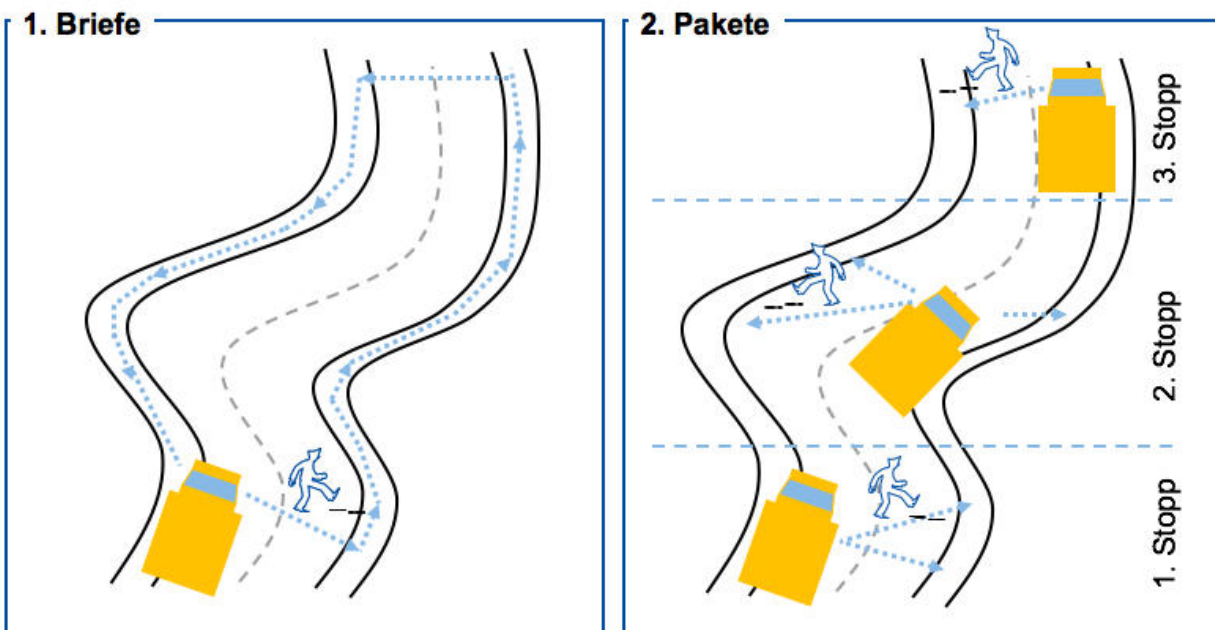


Abbildung 40: Exemplarische Zustellung von Briefen (links) und Paketen (rechts)

Auf der letzten Meile, d.h. der Verteilung von Sendungen in Birkesdorf, wenden die Zusteller den sogenannten Park&Loop Ansatz an. Dabei parken sie das Zustellfahrzeug für die Auslieferung der Briefe (und kleiner Pakete) innerhalb eines bestimmten Bereiches und legen die verbleibenden Wege zur Abgabestelle sternförmig zu Fuß zurück. Aus dem Fahrzeuge werden nur die Briefe mitgenommen, die für die entsprechende Rundtour notwendig sind. Erst danach werden gezielt diejenigen Häuser angefahren, in denen Pakete zugestellt werden müssen. Falls ein Empfänger eines Pakets nicht anzutreffen ist wird in der Regel versucht, das Paket bei Nachbarn abzugeben, um den Aufwand für eine zweiten Zustellversuch zu vermeiden. Die Route, die während der Begleitfahrt abgefahren wurde (ca. 6 km), sowie die Visualisierung der Haltepunkte des Fahrzeugs (blau) mit den Orten der Paketzustellung (gelb) zeigt Abbildung 41:



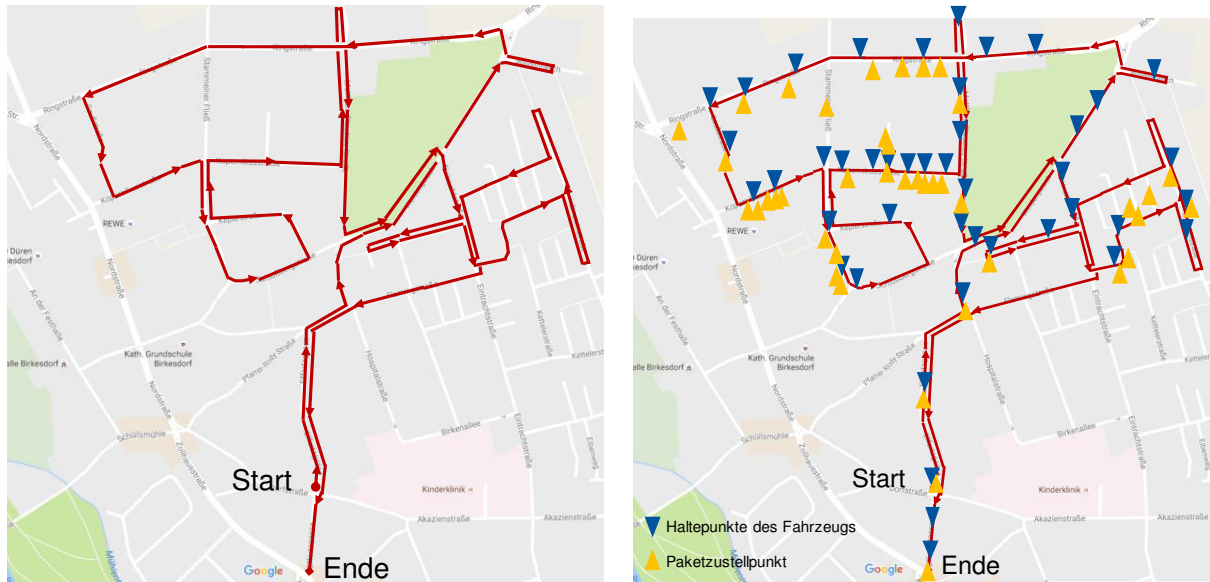


Abbildung 41: Route einer Begleitfahrt (links) und Markierung Haltepunkte & Paketzustellungen (rechts), (Quelle: GoogleEarth)

Die Nachbereitung besteht aus der Sortierung der Briefe und Pakete, die während der Fahrt nicht zugestellt werden konnten, und der Sortierung der Briefe und Pakete, die dem Zusteller während des Zustellprozesses mitgegeben wurden. Die Gründe für eine erfolglose Zustellung von Briefen und Paketen können zum Beispiel darin liegen, dass

- die Briefe oder Pakete falsch bzw. gar nicht frankiert sind,
- die Empfängeradresse nicht mehr existiert,
- Briefe per Einschreiben verschickt worden sind und der Empfänger nicht anzutreffen war
- oder der Empfänger umgezogen ist.

Bei einer erneuten Zustellung am nächsten Tag werden die Pakete vom Zusteller in den Rollwagen gelegt, den er am nächsten Tag in das Fahrzeug lädt. Werden die Pakete durch die Kunden am nächsten Tag abgeholt, sortiert der Zusteller diese in die Rollwagen der entsprechenden Filialen. Briefe, die aus den o.g. Gründen nicht zustellbar waren, werden bei einem erneuten Zustellversuch am nächsten Tag vom Zusteller in das Sortierregal gelegt, damit sie dort bei der Vorbereitung am nächsten Tag berücksichtigt werden. Sind die Briefe gar nicht zustellbar, werden sie je nach Grund der erfolglosen Zustellung in dafür vorgesehene Regale sortiert. Die gesamte Nachbereitung dauert etwa 0,5 Stunden.

Um mögliche Prozessschwächen zu erkennen und daraus Verbesserungspotentiale ableiten zu können, wurden alle Prozesszeiten gemessen und in einer umfangreichen Tabelle dokumentiert. Die folgende Tabelle zeigt exemplarisch die Messergebnisse der Teilschritte, die ein Zusteller während eines Vorgangs durchläuft:

Teilschritte	Gesamt (Pakete & Briefe)		Anteil Pakete	
	Messungen [-]	Durchschnitt [s]	Messungen [-]	Durchschnitt [s]
<b>Parken</b>	82	5,52	12	3,33
<b>Aussteigen</b>	82	22,52	12	2,5
<b>Paket holen</b>	58	20,16	16	21,31
<b>Zustellen</b>	97	250,01	16	82,94
<b>Einsteigen</b>	82	10,76	16	10,25

Tabelle 4: Messergebnisse der Teilschritte

Auffällig ist die Differenz zwischen den durchschnittlichen Prozesszeiten für das Aussteigen. Hierbei ist zu beachten, dass die durchschnittliche Gesamtzeit das kurze Sortieren und Nehmen der benötigten Briefe beinhaltet, während „Paket holen“ als einzelner Prozessschritt definiert ist. Daraus folgt, dass der Prozessschritt „Aussteigen“ für den reinen Anteil der Paketzustellung deutlich kürzer ist. Durch die Auswertung der Messergebnisse wurden mehrere Prozessschwächen erkannt. Nach intensiver Rücksprache mit den Zustellern der Begleitfahrt wurden daraus mögliche Einsparpotentiale für ein optimiertes Zustellfahrzeug mit CO<sub>2</sub>-freiem E-Antrieb abgeleitet. Zwei davon sind in Tabelle 5 exemplarisch aufgeführt. Die errechnete Zeitersparnis bezieht sich dabei ausschließlich auf die jeweilige Tätigkeit (Aussteigen bzw. Einsteigen).

Tätigkeit	$\Delta t$	Erläuterung
<b>Aussteigen nach der Fahrt</b>	-47%	Automatisches Öffnen der Tür rechts und Durchstieg nach rechts auf den Bürgersteig. Zusätzlich entfällt das Warten auf den Durchgangsverkehr.
<b>Einsteigen vor der Fahrt</b>	-61%	Die Tür wird ferngesteuert geöffnet, der Zusteller benutzt den Schnelleinstieg von rechts durch das Fahrzeug auf den Fahrersitz.

Tabelle 5: Einsparpotentiale für ein optimiertes Zustellfahrzeug

Aus Beobachtungen während der Begleitfahrten sowie Gesprächen mit Mitarbeitern vor Ort wurden folgende Schlussfolgerungen für einen optimierten Zustellprozess abgeleitet:

- Optimierte/dynamische Tourenplanung (abhängig von Tageszeit, Verkehr, Wetter etc.)
- Erhöhung der Anzahl von Touren pro Tag
- Vermeidung fahrerbedingter Fehler durch auf Elektrofahrzeug angepasste Anweisung für den Fahrer (Ladestand prüfen, Umgang mit Störungsmeldungen, Werkstattbesuche etc.)
- Berücksichtigung der Beladungsvorgänge

- Erstellung von Workflows für Werkstattbesuche (planmäßige und außerplanmäßige)
- Schulung des Werkstattpersonals für Elektrofahrzeuge
- Einrichtung eines Live Tracking Systems für den Kunden, sodass mehr Pakete beim ersten Versuch zugestellt werden können

### 3.7.3 Prozessbeschreibung Zustellung

Es sind folgende detaillierte Prozessschaubilder zur Zustellung von DPDHL vorhanden:

- Zustellung von Briefen vorbereiten,
- Zustellung von Briefen durchführen und nachbereiten,
- Zustellung von Paketen vorbereiten
- und Pakete zustellen und abholen.

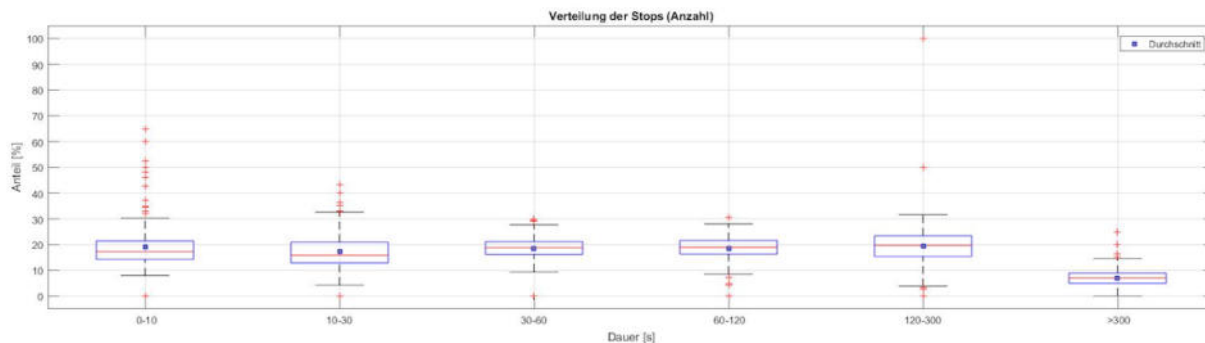
Bei Betrachtung dieser Prozessketten, die für herkömmliche Zustellfahrzeuge ausgelegt sind, fällt auf, dass eine Eins-zu-Eins-Umsetzung des Ablaufs für elektrische Fahrzeuge nicht möglich ist. Beispielsweise darf der Zusteller mit dem E-Auto erst losfahren, wenn er überprüft hat, ob der Ladevorgang erfolgreich war und die Batterie voll ist. Zudem ist die Zustellung erst abgeschlossen, wenn sichergestellt wurde, dass das Auto korrekt an die Ladestation angeschlossen ist. Diese Schritte sind bei Zustellwagen mit Verbrennungsmotoren nicht nötig, für einen reibungslosen Ablauf der elektrischen Zustellung sind sie hingegen enorm wichtig.

Das Beladen des Fahrzeugs ist außerdem weitaus komplizierter, wodurch weitere Veränderungen im Prozess notwendig werden. Ein konventionelles Zustellfahrzeug fährt einfach rückwärts an ein Beladerampe und nimmt alle Sendungen für seinen Zustellbezirk mit, die auf einer Rutsche bereitgestellt werden. Durch das geringere Ladevolumen im E-Zustellfahrzeug (wie zum Beispiel beim StreetScooter Work) werden ggf. zwei Fahrzeuge für einen Bezirk benötigt, den vorher nur ein Zustellfahrzeug beliefert hat. Dadurch müssen die Sendungen, die für den Bezirk bereitliegen, zunächst für die zwei Wagen, die jeweils einen Teilbezirk anfahren, sortiert werden. Hinzu kommt, dass die Elektrofahrzeuge aufgrund ihrer anderen Bauweise nicht direkt an einem Hallentor beladen werden können. Aus diesen beiden veränderten Situationen resultiert, dass zwei Arbeiter beim Beladen der Fahrzeuge helfen müssen – einer, der die Sendungen sortiert und zum Tor bringt und einer, der die Pakete vom Tor zum Fahrzeug transportiert und einlädt.

Diese und weitere Änderungen im Prozess der Zustellung inklusive der Vor- und Nachbereitung, die sich durch die Umstellung von Zustellfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren auf E-Fahrzeuge ergeben, werden aktuell identifiziert und in die Prozessschaubilder aufgenommen.

### 3.7.4 Datenerhebung und Datenmanagement

Im Folgenden werden der Datenerhebungsprozess sowie das zugrundeliegende Datenmanagement beschrieben. In einem Forschungsprojekt, das DPDHL u.a. in Zusammenarbeit mit der Hochschule Kempten durchgeführt hat, wurde das Analysetool „Fleetalyzer“ entwickelt. Die durch dieses Tool verfügbaren Daten wurden von PEM zunächst als Dummy-Daten genutzt. Das Ziel dieses Vorgehens besteht darin, die Methoden zur Datenauswertung anhand der Dummy-Daten zu testen und einen Eindruck der entsprechenden Kenngrößen zu erlangen. Die Dummy-Daten werden anschließend durch reale Daten ersetzt, sobald diese vorliegen. Dies bietet den Vorteil, dass mit Verfügbarkeit der im Zusammenhang mit diesem Projekt erhobenen Daten die anschließende Analyse der realen Daten reibungsloser verlaufen wird. In einem ersten Schritt wurde die Start-Stopp-Dichte eines Zustellfahrzeugs ausgewertet. Der untere Teil von Abbildung 42 zeigt beispielsweise, dass die Stopps, die länger als 300 Sekunden dauern, einen Zeitanteil von ca. 50 % aller Stopps ausmachen. Demgegenüber fallen Stopps, die zwischen 120 und 300 Sekunden dauern, mit einem Anteil von ca. 30% deutlich weniger ins Gewicht. Generell wird deutlich, dass Zustellfahrzeuge eine stark erhöhte Dichte aufweisen im Vergleich zu Fahrzeugen in anderen Nutzungsszenarien. Außerdem wurden u.a. Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofile generiert. Der obere Teil von Abbildung 43 zeigt beispielsweise die Geschwindigkeiten des Fahrzeugs zu jedem beliebigen Zeitpunkt. Die Höchstgeschwindigkeit liegt in diesem Beispiel bei ca. 80km/h, während die maximale Beschleunigung ca. 2,5m/s<sup>2</sup> beträgt.





CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von Deutsche Post DHL Group

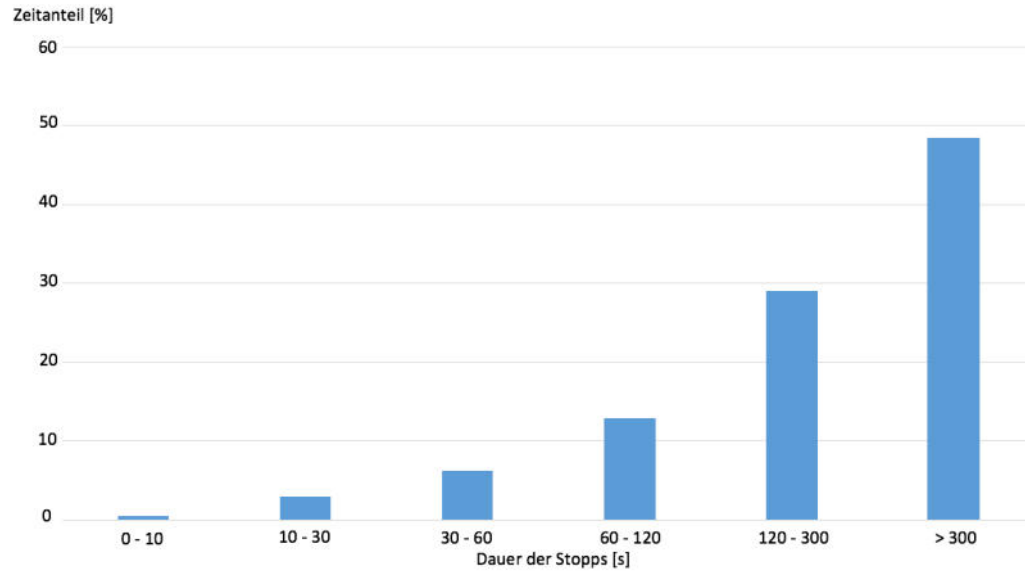
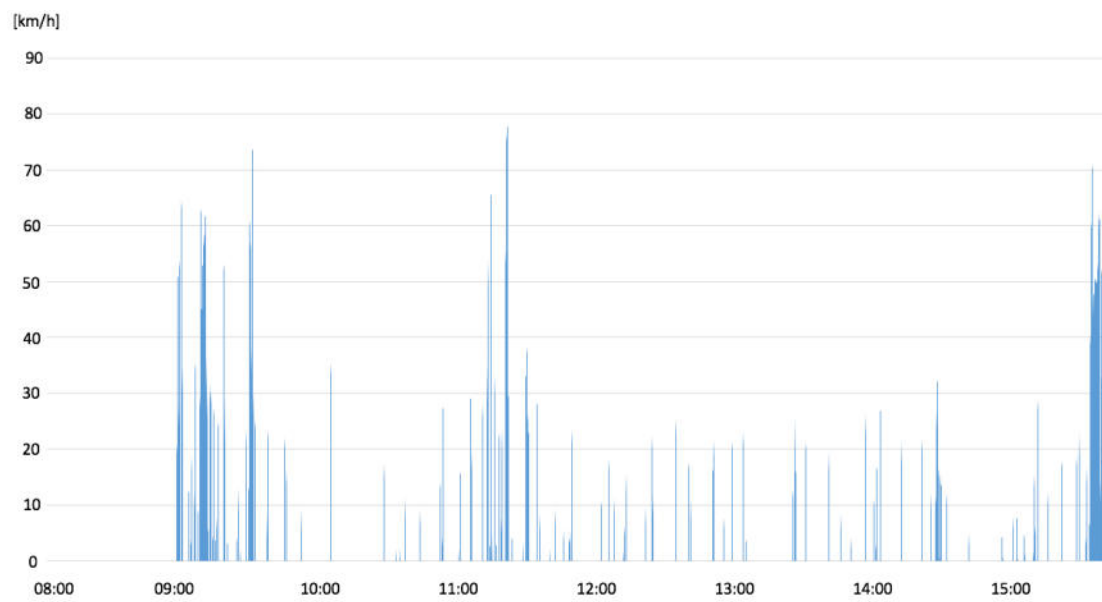


Abbildung 42: Verteilung der Stopps (Anzahl (oben) und Zeitanteil (unten))



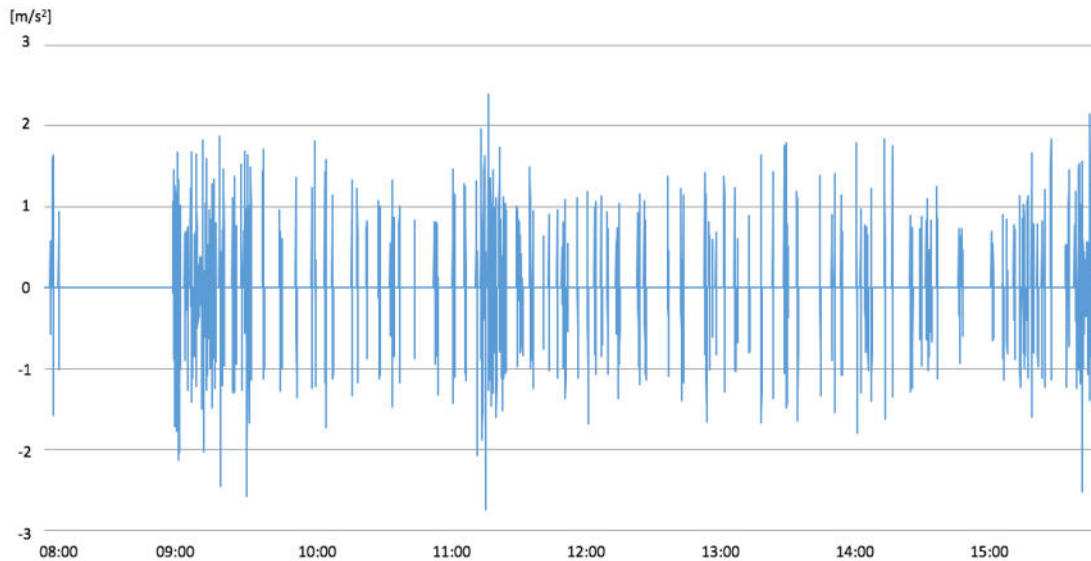


Abbildung 43: Geschwindigkeitsprofil (oben) und Beschleunigungsprofil (unten) eines Tages

### 3.7.5 Allgemeine Gestaltungsrichtlinien für Zustellfahrzeuge

In Zusammenarbeit mit DPDHL und StreetScooter haben Mitarbeiter des PEM folgende allgemeine Gestaltungsrichtlinien für die Zustellfahrzeuge definiert, die im Laufe des Projektes ergänzt und detailliert werden sollen:

- Optimierung der ergonomischen Gestaltung innerhalb und außerhalb des Zustellfahrzeugs
- Optimierung der Sichtfelder unter Berücksichtigung der gesetzlichen Anforderungen
- Sicherstellung des Fahrzeugeinsatzes auch bei innerstädtischen Verkehrsbeschränkungen
- Eignung für hohe Start-Stopp-Dichten und eine geringe Durchschnittsgeschwindigkeit
- Einrichtung funktionszugeordneter Ablagefächer (für Handscanner etc.)
- Erhöhung und Optimierung des Nutzvolumens
- Hohe Zuverlässigkeit der Fahrzeuge (~300 Einsatztage/Jahr)
- Eignung für topographisch anspruchsvolle Zustellgebiete
- Verbesserung der wirtschaftlichen Gesamtkosten (TCO)

Parallel dazu wurden basierend auf bisherigen Erfahrungen im elektromobilen Zustellprozess gemeinsam mit DPDHL und StreetScooter Vor- und Nachteile von Elektrofahrzeugen in der Brief- und Paketzustellung gesammelt. Durch deren Gegenüberstellung werden die besondere Eignung und das große Potenzial von Elektrofahrzeugen deutlich. Dennoch weisen die Nachteile auf weiteren Handlungsbedarf für eine ausgebaute und optimierte elektromobile Zustellung hin. Diese Hindernisse auf



dem Weg zur Elektromobilität überschneiden sich wiederum mit einigen Fragestellungen, die zur Datenanalyse definiert wurden. Sie sollen in diesem Projekt adressiert werden und es sollen Lösungen für die herausgearbeiteten Herausforderungen entwickelt werden.

	Vorteile	Nachteile
<b>allgemein</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion von lokalen Emissionen, Stickoxiden, Partikeln und Lärm</li> <li>▪ Aufrechterhaltung der Einfahrtsgenehmigung in Stadtbereichen</li> <li>▪ Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern und deren Preisschwankungen</li> <li>▪ Antrieb mit Strom aus erneuerbaren Energien</li> <li>▪ Geringerer Verschleiß durch das Nichtvorhandensein von Komponenten wie Kupplung und Getriebe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduktion der Reichweite durch Nebenverbraucher wie Klimaanlage, Heizung, Radio etc.</li> <li>▪ Geringe Anzahl von Werkstätten für die Reparatur von Elektrofahrzeugen</li> <li>▪ Unzureichende Ladeinfrastruktur außerhalb des Firmengeländes</li> </ul>
<b>StreetScooter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gutes Verhältnis zwischen Brutto- und Nettotonnlast sowie Brutto- und Nettotonnvolumen</li> </ul>	

Tabelle 6: Vor- und Nachteile der Nutzung von Elektroautos als Zustellfahrzeuge

### 3.7.6 Vorgehensweise auf Basis der vorherigen Ergebnisse

Nachdem bereits zuvor (siehe Kapitel 3.7.1 und Kapitel 3.7.4: Aufbereitung der wesentlichen Fragestellungen und Datenerhebung und Datenmanagement) relevante Fragestellungen und Möglichkeiten der Datenanalyse thematisiert worden sind, wurde nun von Mitarbeitern des PEM ein systematisches Konzept zur strukturierten Analyse der Fahrzeugnutzung entworfen. Dieses Konzept wurde anschließend zur Erprobung in Form eines Excel-Analysertools implementiert und ausgewertet.

Bei dem Analysetool handelt es sich um ein Bewertungssystem der Leistungsfähigkeit der StreetScooter im dauerhaften Zustellbetrieb, welches der Diversität der verfügbaren Daten entsprechend eine Beurteilung der Elektrofahrzeugnutzung auf der letzten Meile der Logistik aus den Perspektiven der Wirtschaftlichkeit, CO<sub>2</sub>-Effizienz und Anwenderfreundlichkeit sowie auf unterschiedlichen Granularitätsstufen (Bewertung einzelner Fahrzeuge, Standorte oder die komplette Flotte betreffend) ermöglicht. Diese Bewertungsperspektiven decken sich mit dem vorab definierten Zielvorhaben dieses

Forschungsprojektes. Um eine möglichst ganzheitliche Betrachtung zu ermöglichen, fließen bei der Bewertung der Fahrzeugnutzung sowohl fahrzeugbedingte (z.B. Batteriegröße und -alterung), nutzungsbedingte (z.B. Fahrweise) als auch umgebungsbedingte (Außentemperatur, Höhenmeter) Charakteristika mit ein. Das Analysetool bietet somit einerseits ein Informationssystem über die bisherige Nutzung der Fahrzeuge, andererseits eine Möglichkeit zur vergleichenden Evaluation der Nutzungsverhalten. Die dadurch realisierte Informationstransparenz ermöglicht das Identifizieren von Problematiken im Zustellbetrieb, deren Erkenntnis die Grundlage für spätere Anpassungs- und Optimierungsmaßnahmen sind.

### 3.7.7 Umsetzung des Analysetools zur Bewertung der Fahrzeugnutzung

Das selbstentwickelte Bewertungstool zur Fahrzeugnutzung verwendet Kennwerte zur vergleichenden Evaluierung der Fahrzeugnutzung, die nach der zuvor beschriebenen zweiseitigen Methodik gebildet werden und auf den vorgefilterten Daten basieren.

Die Kennzahlen werden im Analysetool bei Eingabe der Rohdaten automatisch gebildet und grafisch veranschaulicht. Eine Übersicht zur Darstellung einiger Kennwerte ist Abbildung 44 zu entnehmen. Die grafischen Auswertungen lassen sich dabei vom Betrachter über die Benutzeroberfläche anpassen, sodass er etwa einzelne Standorte in einem definierten Zeitraum auswählen und miteinander vergleichen kann.

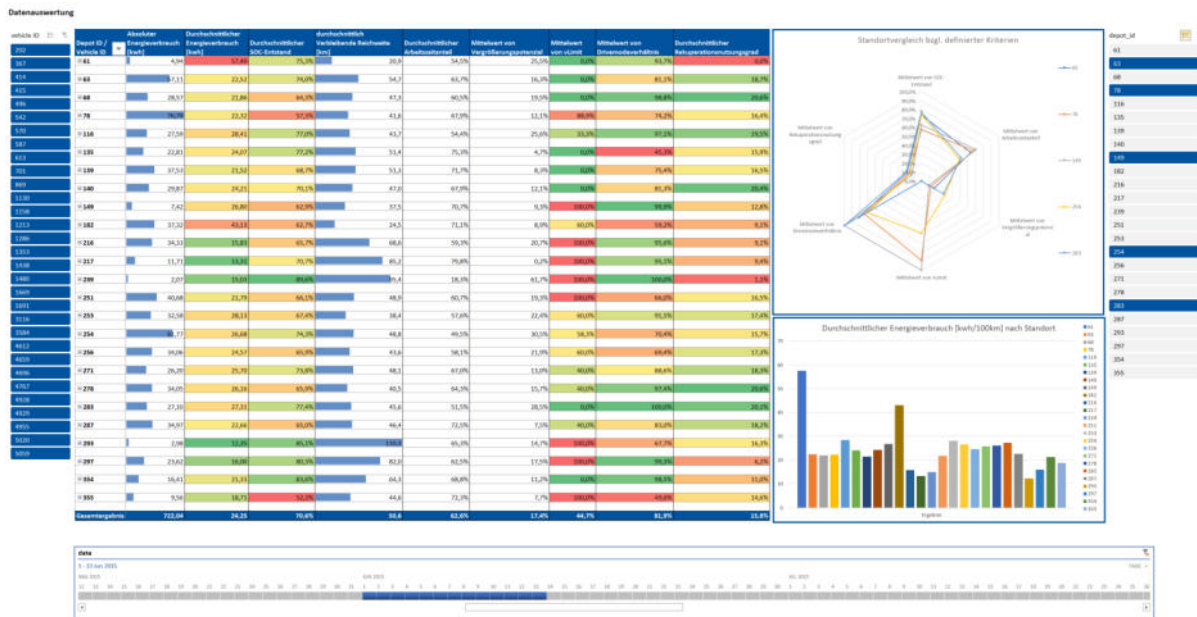


Abbildung 44: Auszug aus dem Excel-Bewertungstool

Aus den Auswertungen der Daten lassen sich entsprechende Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten bezüglich relevanter Leistungsgrößen (z.B. durchschnittlicher Energieverbrauch) feststellen. Dies lässt sich einerseits auf die unterschiedlichen

Umstände der Fahrzeugnutzung zurückführen, die mittels weiterer Kennzahlen zu Fahrverhalten und externen Faktoren (Temperatur, Höhenmeter) transparent abgebildet werden. Andererseits war die Anzahl an Datensätzen der dazu primär genutzten DailyStats gering, sodass sich Unterschiede über einen längeren Betrachtungszeitraum wieder relativieren könnten. Neben der Kennzahlenanalyse durch das Bewertungstool lassen sich noch weitere, tiefergehende Auswertungen mit den zur Verfügung stehenden Daten durchführen, die im Folgenden beispielhaft dargestellt werden.

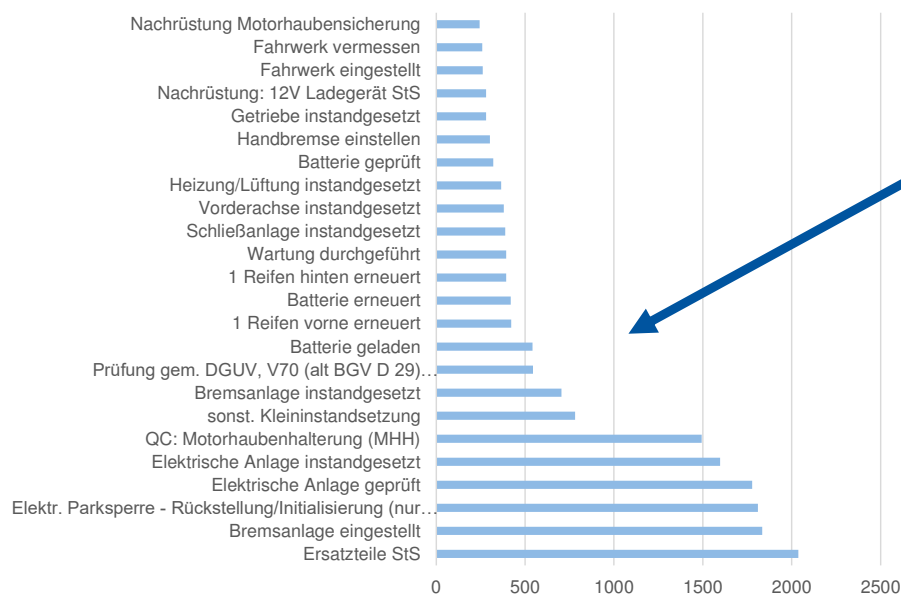
### 3.7.8 Exemplarische Erkenntnisse aus den Werkstattdaten

Zentraler Bestandteil der Werkstattdaten sind die darin angegebenen Arbeitspositionen. Interessant ist hierbei insbesondere zu wissen, welche Reparaturvorgänge besonders häufig durchgeführt werden müssen. Dadurch können einerseits mögliche Verbesserungspotenziale für das Fahrzeugdesign bzw. die Komponentenauswahl der StreetScooter abgeleitet werden. Andererseits ermöglichen Erfahrungswerte zur Anzahl der benötigten Ersatzteile eine entsprechende Vorkommissionierung, sodass diese den Werkstätten schneller zur Verfügung stehen und sich die Ausfallzeit der Fahrzeuge entsprechend verringert.

Dazu wurden die Werkstattpositionen im Rahmen einer ABC-Analyse zunächst nach absoluter Häufigkeit sortiert. Es bietet sich zudem an, die Arbeitspositionen nach den einzelnen Niederlassungen aufzugliedern, um eventuelle regionale Abhängigkeiten zu identifizieren.

#### Detaillierte Aufgliederung der A-Positionen

Anzahl Werkstattabrechnungen nach Arbeitspositionen



#### ABC-Analyse der Arbeitspositionen

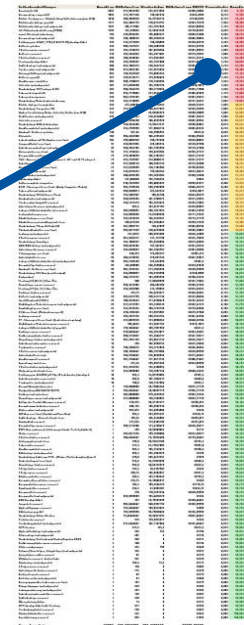


Abbildung 45: ABC-Analyse der Arbeitspositionen nach absoluter Häufigkeit

Die häufigste Arbeitsposition stellt hier der Verbau von StreetScooter-Ersatzteilen dar. Diese Arbeitsposition lässt sich jedoch feiner in die einzelnen Ersatzteile aufgliedern, sodass Arbeiten an der Bremsanlage / Parksperre sowie der elektrischen Anlage die häufigsten Gründe für Werkstattaufenthalte darstellen.

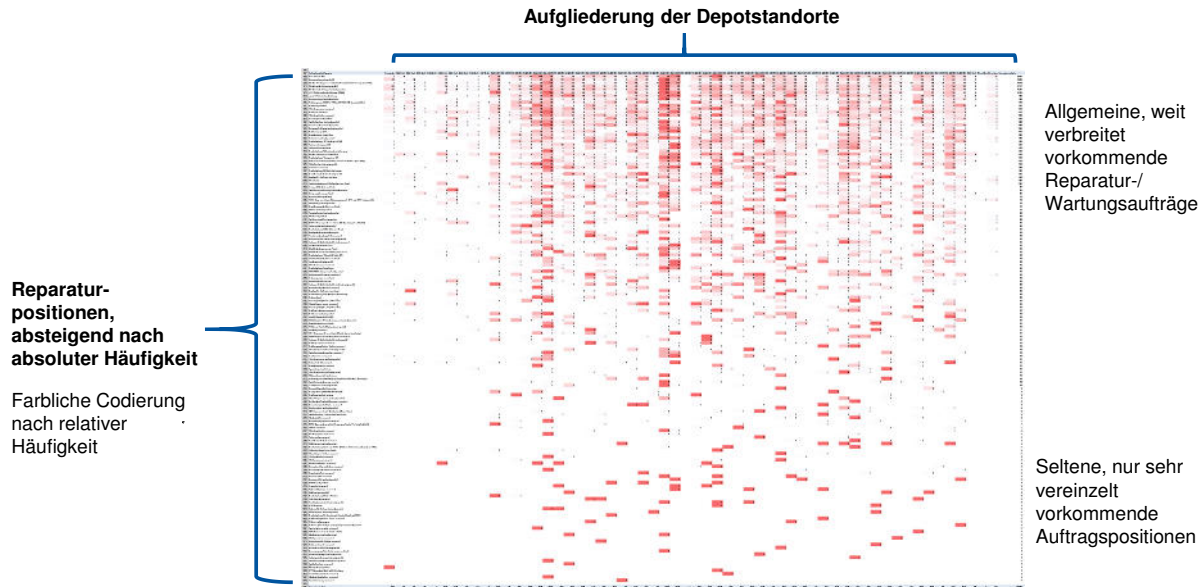


Abbildung 46: Analyse der Arbeitspositionen nach Depotstandorten und relativer Häufigkeit

### 3.7.9 Aufbereitung der wesentlichen Fragestellungen

Die in Tabelle 7 festgehaltenen Fragestellungen wurden im Jahr 2018 vom PEM um zwei weitere Fragestellungen ergänzt (siehe letzte beiden Zeilen in Tabelle 7), die die Themenbereiche *Wartung/Verschleiß* und *Leistungsmessung/Fahrzeugnutzung* adressieren. Für ihre Beantwortung wurden Werkstattberichte, Nutzermeinungen sowie Car-2-Cloud-Daten erhoben und ausgewertet.

Thema	Fragestellungen
<b>Korrelation zwischen Rekuperation und Bremsverschleiß</b>	Inwiefern korreliert der Bremsverschleiß mit der Rekuperation des Fahrzeugs? Wie hoch ist das Kosteneinsparpotential durch reduzierte Betriebskosten? In welchem Maß sind die Wartungskosten von der Topographie abhängig?
<b>Einfluss der Nebenverbraucher</b>	Wie hoch ist der Einfluss der einzelnen Nebenverbraucher im Fahrzeug auf die Reichweite der Batterie? Inwiefern variiert der Einfluss mit der Außentemperatur? Welche Reichweite kann durch eine Reduzierung der Nebenverbraucher realisiert werden?

<b>Track and trace</b>	Kann auf Basis der Handscannerdaten (Dauer einer Paketauslieferung) ein Prognosemodell für einen Auslieferungszeitpunkt von Paketen erstellt werden? Wie genau ist die Abschätzung im Laufe des Tages?
<b>Wartung/ Verschleiß</b>	Was sind die häufigsten Gründe für Werkstattaufenthalte? Welche Arbeitspositionen kommen besonders häufig vor? Welche StreetScooter-spezifischen Ersatzteile werden besonders häufig benötigt?
<b>Leistungsmessung/ Fahrzeugnutzung</b>	Wie lässt sich grundsätzlich die elektromobile Fahrzeugnutzung quantifizieren und bewerten? Anhand welcher Maßstäbe erfolgt eine Bewertung? Wie lässt sich ein Performance Measurement in der Praxis umsetzen?

Tabelle 7: Exemplarische Fragestellungen und Themenbereiche (ergänzt)

### 3.7.10 Implementierung einer Predictive Maintenance Lösung

Für die Beantwortung der ergänzten Fragestellung im Bereich *Wartung/Verschleiß* (siehe Tabelle 7) wurde am PEM ein auf den Anwendungsfall StreetScooter angepasstes Modell für die Implementierung einer vorausschauenden Wartung (Predictive Maintenance Lösung) entwickelt. Auch für dieses Modell soll in den folgenden Abschnitten die Zielsetzung, der Modellentwurf und die Ergebnisse kurz dargestellt werden.

Das Modell soll ermöglichen, die für Predictive Maintenance relevanten Parameter anhand einer ganzheitlichen Betrachtung zu ermitteln. Mit Hilfe des Modells sollen diese relevanten Parameter identifiziert und im Kontext des Fallbeispiels genauer analysiert werden. Darüber hinaus soll auf Grundlage der bereits zur Verfügung stehenden Parameter bestimmt werden, welche Parameter zur Einführung von Predictive Maintenance bei StreetScooter noch zu erfassen sind. Zur ganzheitlichen Bewertung der Predictive Maintenance Instandhaltungsstrategie am Fallbeispiel sollen zudem die ökonomischen Implikationen einer Einführung beleuchtet werden.

Für den Entwurf des Modells wurden zunächst die Bedeutung von Elektrofahrzeugen im Zustellbetrieb sowie die aktuellen Herausforderungen im Post- und Paketgeschäft der DPDHL herausgearbeitet. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen ist die Relevanz von Predictive Maintenance als vorausschauende Instandhaltungsstrategie für die DPDHL-Zustellfahrzeuge aufgezeigt worden. Für die Anwendung am Fallbeispiel StreetScooter wurden die theoretischen Grundlagen dieses Ansatzes dargelegt. Im Weiteren ist auf die praktische Umsetzung von Predictive Maintenance und der daraus resultierenden Notwendigkeit der Entwicklung eines Modells zur Ermittlung der hierfür relevanten Parameter Bezug genommen worden. Basierend auf dem Product Lifecycle Management Ansatz wurde das Modell am PEM konzipiert und in der Folge am Lebenszyklus eines Elektrofahrzeuges ausgearbeitet. Eine Ausdetaillierung der hierbei



ermittelten Parameter (siehe Abbildung 47) fand anschließend am Fallbeispiel StreetScooter statt.

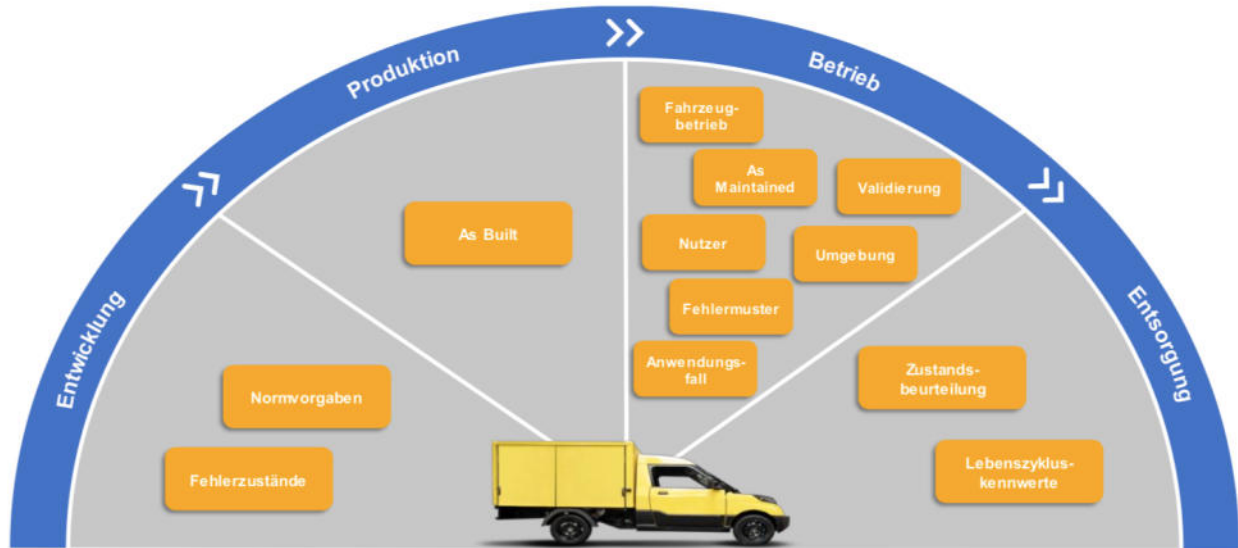


Abbildung 47: Darstellung der relevanten Parameter

Ein Abgleich der zuvor ermittelten relevanten mit den aktuell bereits erfassten Parametern lieferte in einem weiteren Schritt die für die Umsetzung am Fallbeispiel noch zu berücksichtigenden Parameter (siehe Abbildung 48).

Lebenszyklus-phase	Relevante Datenquellen	StreetScooter Datenquellen
Entwicklung	Fehlerzustände, Normvorgaben	<input type="text"/> <input type="text"/>
Produktion	As Built	<input type="text"/>
Betrieb	Fahrzeugbetrieb, Anwendungsfall, Fehlermuster	Betriebsdaten, Werkstattdaten, <input type="text"/>
	As Maintained, Validierung, Nutzer	<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>
	Umgebung	<input type="text"/>
Entsorgung	Lebenszykluskennwerte, Zustandsbeurteilung	<input type="text"/> <input type="text"/>

Abbildung 48: Vergleich der Datenquellen

Die Gegenüberstellung der Datenquellen in Abbildung 48 zeigt, dass die bereits vorhandenen Parameter des StreetScooters ausschließlich der Betriebsphase



zuzuordnen sind. Folglich sind die relevanten Datenquellen der übrigen Produktlebenszyklusphasen momentan noch nicht verfügbar.

Darüber hinaus wurden die ökonomischen Implikationen einer Predictive Maintenance Strategie vom PEM am Fallbeispiel StreetScooter mit einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung genauer beleuchtet. Das Ergebnis zeigt, dass für die Umsetzung sowohl Investitionen in die Infrastruktur als auch die Implementierung von Applikationen notwendig sind und außerdem während des Betriebes Kosten anfallen. Den Kosten für die Umsetzung stehen allerdings Kosteneinsparpotentiale sowie nichtfinanzielle Nutzenaspekte gegenüber.

Zu den Kosteneinsparpotentialen zählt beispielweise die Erhöhung der Verfügbarkeit der Zustellfahrzeuge. Eine hohe Verfügbarkeit der StreetScooter ist entscheidend für deren optimale wirtschaftliche Nutzung. Wird von einer Fahrzeugverfügbarkeit innerhalb der Flotte von 90% ausgegangen, so bedeutet dies, dass 10% der Fahrzeuge nicht produktiv genutzt werden. Für diesen Anteil der Fahrzeugflotte wurden allerdings Investitions- und Betriebskosten aufgewendet, denen in diesem Fall jedoch kein kommerzieller Nutzen gegenübersteht. Wird weiterhin davon ausgegangen, dass bei einer gesteigerten Verfügbarkeit der StreetScooter insgesamt weniger Fahrzeuge benötigt werden, um die Sendungen auszuliefern, können Investitions- und Betriebskosten eingespart werden. Die Erhöhung der Verfügbarkeit steht somit in einer direkten Korrelation mit Kosteneinsparungen.

Als Beispiel für einen nichtfinanziellen Nutzenaspekt steht Beispiel die Verbesserung der Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit während der Zustellfahrten. Die Unzufriedenheit der Kunden durch verzögerte Lieferungen infolge von Ausfällen der StreetScooter lässt sich zwar nicht monetär quantifizieren, ist jedoch ein relevanter Faktor in einer ganzheitlichen Betrachtung der Nutzenfaktoren von Predictive Maintenance. Neben der Zufriedenheit der Kunden ist für die DPDHL auch die Zufriedenheit der eigenen Mitarbeiter sehr wichtig. Zusteller sind in ihrer Arbeit täglich auf funktionstüchtige Fahrzeuge angewiesen. Unzuverlässigkeit bedingt durch Ausfälle des StreetScooter während des Betriebes wirkt sich folglich negativ auf die Zufriedenheit der Mitarbeiter aus. Predictive Maintenance hingegen kann diese Ausfälle prognostizieren und folglich einen Beitrag zu einer Steigerung der Mitarbeiterzufriedenheit leisten.

### 3.7.11 Entwicklung einer strukturierten Methodik zur Bewertung der Fahrzeugnutzung

Um das Analysetool für die ergänzte Fragestellung im Themenbereich *Leistungsmessung/Fahrzeugnutzung* (siehe Tabelle 7) entwickeln zu können, wurde vom PEM zunächst eine strukturierte Methodik zur systematischen Bewertung der Fahrzeugnutzung entwickelt, die die gegebenen praktischen Randbedingungen der verfügbaren Daten mit einbezieht. Die Leistungsmessung der StreetScooter wird dabei durch zwei grundsätzliche Fragestellungen geprägt:

1. Theoretische Ebene: Wie lässt sich eine gute Fahrzeugnutzung definieren? Was sind hierfür die Bewertungsmaßstäbe? (Top-Down Ansatz)

2. Praktische Ebene: Welche Daten sind zur Bewertung verfügbar bzw. können mit vertretbarem Aufwand erhoben werden? Was kann damit für ein Informationsmehrwert geschaffen werden? (Bottom-Up Ansatz)

Zur Entwicklung von Kennzahlen der Fahrzeugleistung muss also nicht nur der Informationscharakter der jeweiligen Kennwerte (vgl. Frage 1), sondern auch die Verfügbarkeit an Daten einbezogen werden. Während herkömmliche Ansätze in der Wissenschaft den Prozess der Kennzahlenbildung meist als einen reinen „Top-Down-Ansatz“ beschreiben, wird vom PEM eine zweiseitige (bewertungsorientiert Top-Down und datenorientiert Bottom-up) Herangehensweise verwendet, um unter den gegebenen Bedingungen ein möglichst optimales Ergebnis zu erzielen. Die Methodik zur Kennzahlenbildung unterteilt sich dazu in drei wesentliche Arbeitsschritte:

### 1. Top-Down Ansatz: Strukturierte Herleitung von Leistungsgrößen

Als grundlegende Bewertungsmaßstäbe dienen die Ziele dieses Forschungsvorhabens, ein sowohl ökologisch als auch ökonomisch nachhaltiges Elektrofahrzeug für den Großflottenbetrieb zu industrialisieren. Dieses Vorhaben lässt sich in drei entsprechende Zielgrößen übersetzen:

- a. Kapitalwert / Total Costs of Ownership als Bewertungsmaßstab für die Wirtschaftlichkeit der Elektrofahrzeugnutzung
- b. Mit der Elektrofahrzeugnutzung verbundene direkte und indirekte Emissionen von CO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>-Äquivalenten als Bewertungsmaßstab für die ökonomische Nachhaltigkeit
- c. Nutzerzufriedenheit unter den Zustellern als maßgebliches Kriterium für eine erfolgreiche Industrialisierung in den Großflottenbetrieb

Diese drei grundlegenden Zielgrößen werden anschließend mit Hilfe von sogenannten Logikbäumen auf detaillierte, mit der Fahrzeugnutzung direkt zusammenhängende Leistungsgrößen heruntergebrochen (Beispiel Kapitalwert: Mit dem StreetScooter verbundene Kosten lassen sich in Anschaffungs- und Betriebskosten unterteilen. Betriebskosten resultieren primär aus Werkstattaufenthalten sowie dem Energieverbrauch. Der Energieverbrauch ist unter anderem vom Fahrverhalten des Zustellers abhängig).

### 2. Bottom-Up Ansatz: Identifizierung des Anwendungspotenzials der verfügbaren Daten

Neben der Identifizierung der zur Verfügung stehenden Datengrundlagen werden diese auf ihre Qualität hin überprüft. Anschließend werden von den Daten ausgehend potenzielle Kenngrößen gebildet. Diese Vorgehensweise ist einerseits sehr praxisorientiert, da nur bereits vorhandene Messgrößen herangezogen werden. Andererseits ermöglicht dieser Ansatz, unabhängig von dem zuvor beschriebenen Top-Down-Leistungsdenken aus Unternehmensperspektive Kenngrößen zu bilden, sodass durch die vertauschte Denkrichtung noch mögliche

weitere Leistungsaspekte identifiziert werden, die ansonsten nicht bedacht worden wären.

### 3. Zusammenführung der Ansätze

Nachdem leistungsrelevante Faktoren aus Sicht der DPDHL sowie die existierenden Datengrundlagen und deren Anwendungspotenziale herausgearbeitet wurden, werden die beiden Perspektiven zur eigentlichen Kennzahlenbildung zusammengeführt (siehe Abbildung 49). Von den Leistungsgrößen des Logikbaums ausgehend, können passende Datenvariablen herausgesucht und zu Kennzahlen verknüpft werden. Umgekehrt wird auch auf Basis des Informationsgehalts der Messgrößen nach einem passenden Anwendungsfall im Logikbaum gesucht. Lassen sich die datenbasierten Kenngrößen nicht direkt in die Top-Down-Logikstruktur einordnen, so kann der Logikbaum im Falle eines zusätzlichen Informationsgewinn entsprechend detaillierter aufgegliedert werden.

Mittels dieser Methodik wird einerseits eine umfassende Bewertungssystematik der Fahrzeugnutzung aus verschiedenen Perspektiven ermöglicht, andererseits erweist sie sich durch die frühe Einbindung der verfügbaren Daten als sehr praxisorientiert.

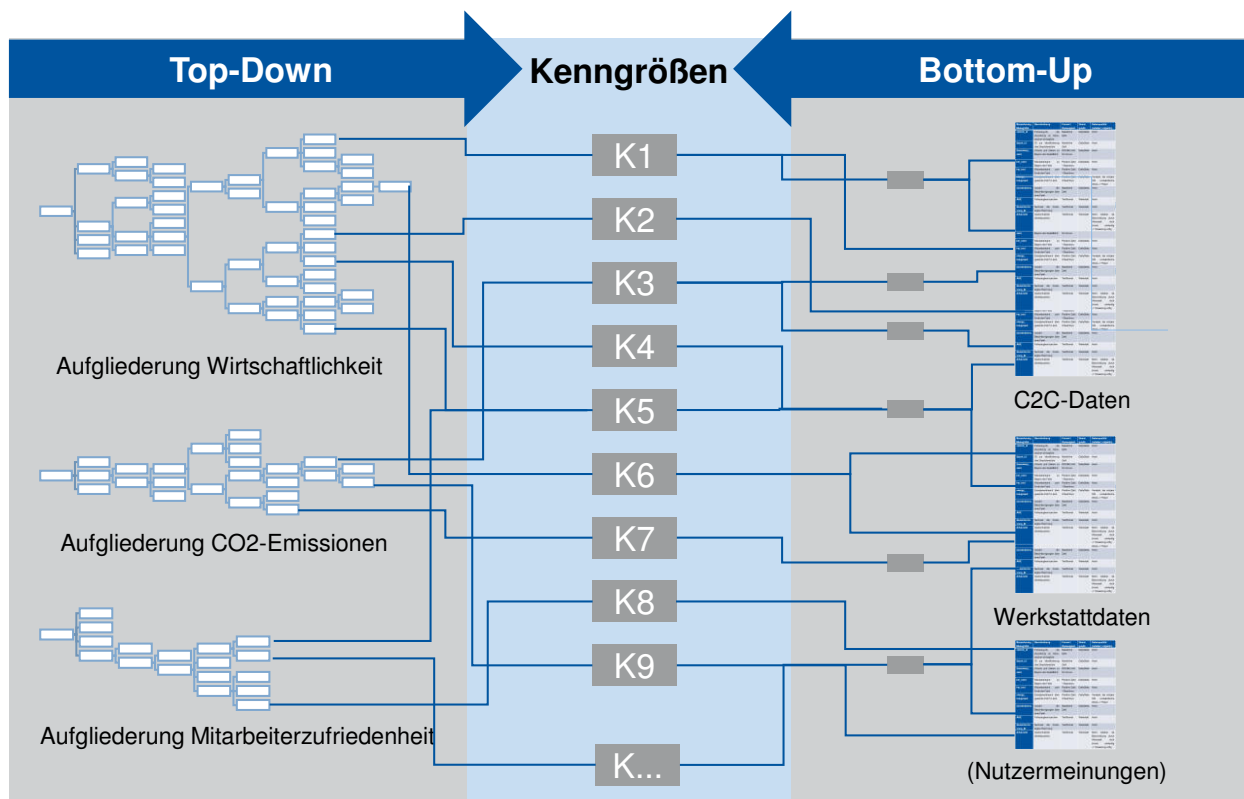


Abbildung 49: Schema Methodik strukturierte Kennzahlenentwicklung

#### 3.7.12 Exemplarische Erkenntnisse aus den DailyStats und den Verlaufsdaten

Ergänzend zu den Exemplarischen Erkenntnissen aus den Werkstattdaten (siehe Kapitel 3.7.8) werden im Folgenden die exemplarischen Erkenntnisse aus den *DailyStats* sowie aus den *Verlaufsdaten* erläutert.

Die *DailyStats* beinhalten komprimierte Messgrößen, die sich während der Zustellfahrt an den StreetScootern erfassen lassen. Im Folgenden sind einige Auswertungsergebnisse beispielhaft dargestellt.

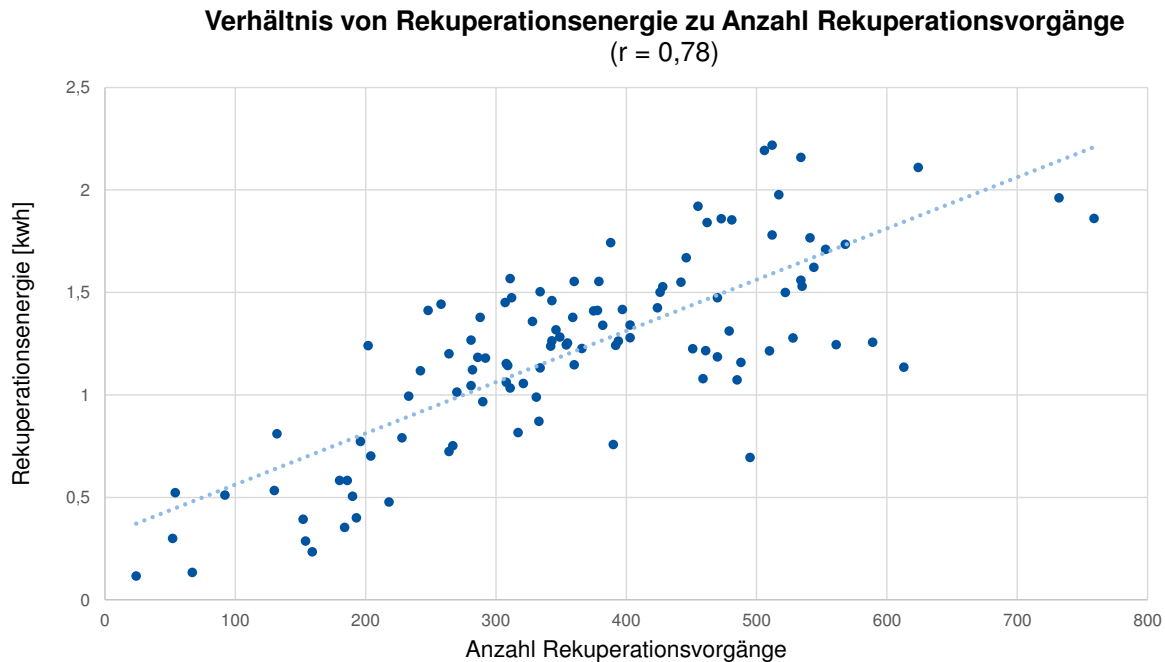


Abbildung 50: DailyStats: Verhältnis von Rekuperationsenergie zu Anzahl an Rekuperationsvorgängen

Dem Diagrammverlauf (siehe Abbildung 50) lässt sich eindeutig eine, wie zu erwarten, positive Korrelation von gewonnener Rekuperationsenergie zu Anzahl an Rekuperationsvorgängen entnehmen. Hierdurch wird einerseits die Korrektheit der Energiemessung für die gefilterten Daten validiert, andererseits entspricht die Steigung der Ausgleichsgeraden dem durchschnittlichen Energiebetrag pro Rekuperationsvorgang. Anhand dieses Flotten-Durchschnittswertes lässt sich das Rekuperationsverhalten einzelner Fahrzeuge einordnen. Liegt ein Fahrzeug z.B. konstant deutlich unter dem Durchschnittswert, deutet das auf einen frühzeitigen Einsatz des Bremspedals hin, wodurch die Möglichkeit der Energierückgewinnung nur begrenzt genutzt wird.

Abbildung 51 zeigt Durchschnitts- und Minimalwerte für den Ladestand der Traktionsbatterie am Ende einer Zustellfahrt in Abhängigkeit der jeweiligen Wochentage. Die Auswertung zeigt, dass die vorgesehene Batteriekapazität von 20 kWh für den StreetScooter Work unter Optimalbedingungen (geringe Alterung der Batterie, zu Beginn der Fahrt vollständig geladen, durchschnittliche Außentemperatur von 19°C) problemlos für den Zustellbetrieb ausreicht. Zukünftig sind bei der Bereitstellung von weiteren Datensätzen insbesondere Messungen mit Batterien von Relevanz, die bereits länger und

unter ungünstigen äußeren Umständen (z.B. Frost) im Einsatz sind, um auch eine Aussage über die Leistungsfähigkeit unter Extrembedingungen treffen zu können.

### SOC-Endstand nach Zustellung

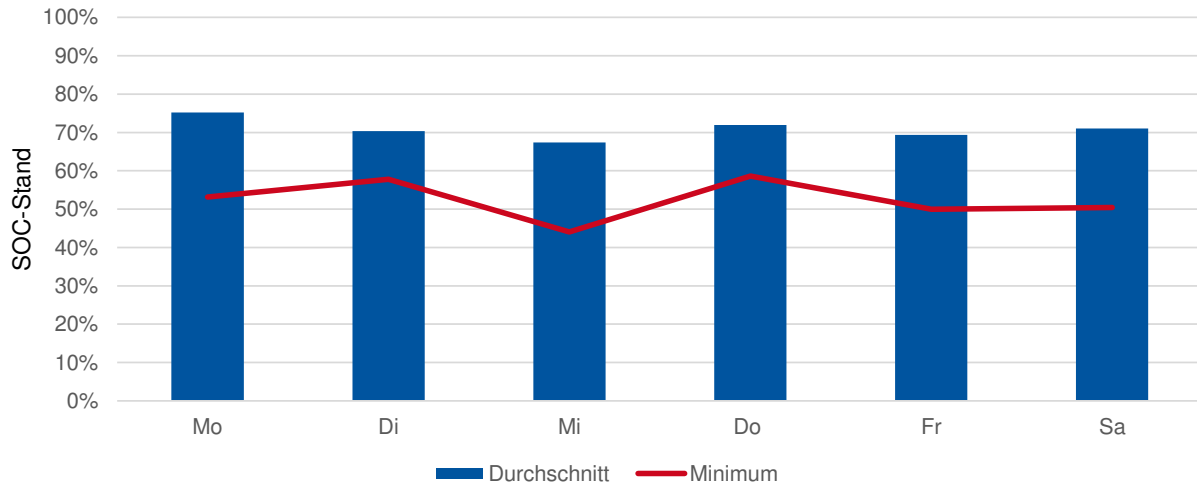


Abbildung 51: Batterieladestand am Ende der Zustellung

Basis für die *DailyStats* sind die *Verlaufsdaten*, die aus zeitlich aufgetragenen Messpunkten bestehen. Im vorliegenden Beispiel (siehe Abbildung 52) lässt sich etwa das zuvor angesprochene Rekuperationsverhalten genauer analysieren. Im grün umrandeten Bereich liegt eine konstante negative Leistung vor, sodass Energie zurückgewonnen wird. Das Fahrzeug wird dabei kurzzeitig zusätzlich abgebremst (erkenntlich aus dem negativen Ausschlag im Beschleunigungsverlauf). Anhand solcher Informationen lassen sich Verbesserungspotenziale für das Fahrverhalten ableiten, sodass Zusteller entsprechend geschult werden können.

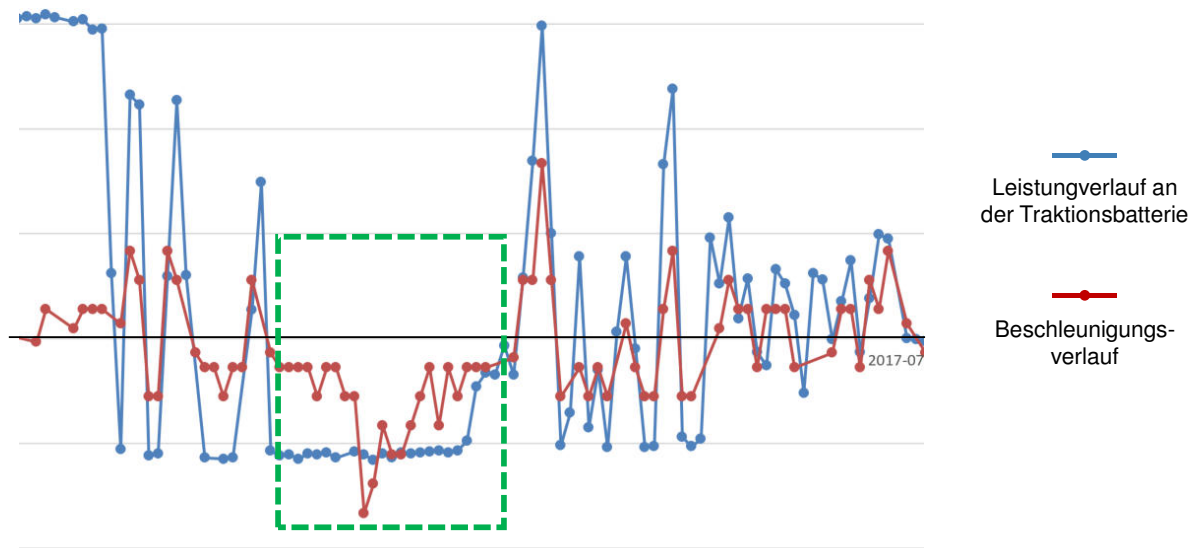


Abbildung 52: Ausschnitt des zeitlichen Beschleunigungs- und Leistungsverlaufs

### 3.7.13 Datenanalyse der DailyStats und der Verlaufsdaten

Im Rahmen der Datenanalyse wurden vom PEM Diagramme und Grafiken erstellt, um qualitative sowie quantitative Zusammenhänge zwischen einzelnen Variablen aufzudecken. Auf Grundlage dieser Zusammenhänge konnten anschließend Erkenntnisse hinsichtlich Fahrverhalten der Zusteller sowie Verbesserungen an den Zustellfahrzeugen abgeleitet werden. Eine Beispielgrafik zur Analyse der Frontscheibenheizung ist in Abbildung 53 dargestellt.



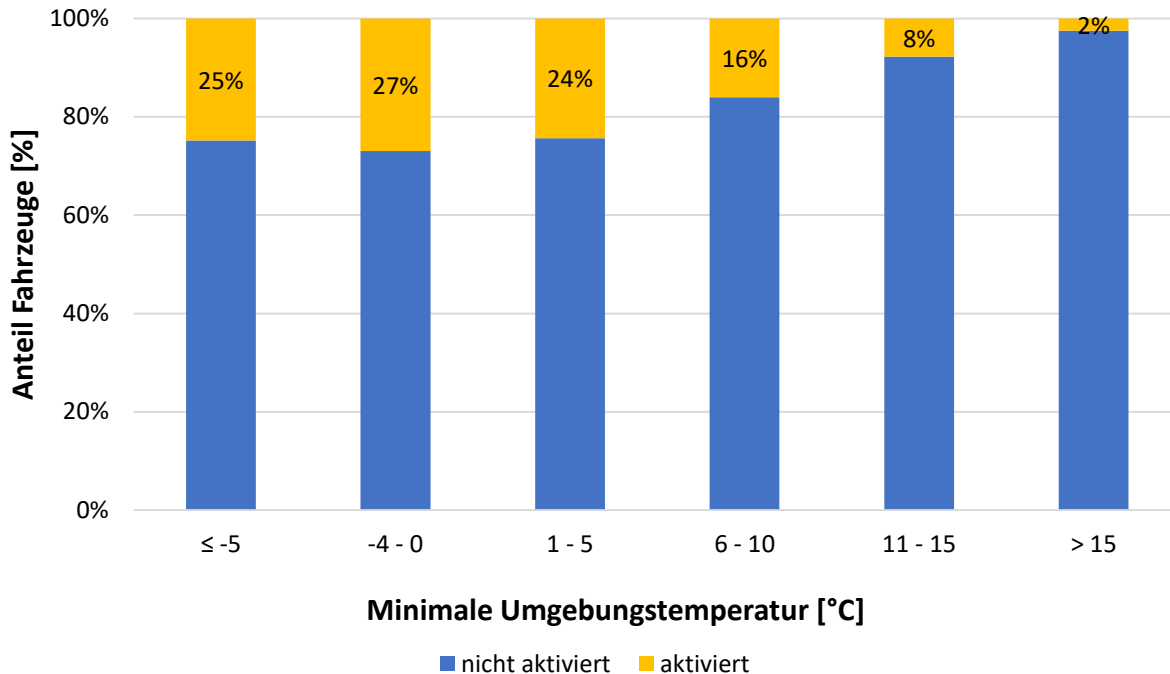


Abbildung 53: Betätigung der Frontscheibenheizung in Abhängigkeit zur Umgebungstemperatur

Die Abbildung zeigt, dass bei Umgebungstemperaturen unter +5°C im Durchschnitt nur etwa ein Viertel der Zusteller die Frontscheibenheizung aktivieren. Dies könnte an zwei möglichen Ursachen liegen: zum einen könnten die Zusteller keine Kenntnis darüber haben, dass die Zustellfahrzeuge eine Frontscheibenheizung besitzen. Zum anderen könnten sie aufgrund der „Reichweitenangst“, die im Sommer 2016 im Rahmen von protokollierten Einzelgesprächen festgestellt wurde, dazu tendieren, die Reichweite ihrer Zustellfahrzeuge durch die Aktivierung der Frontscheibenheizung nicht „unnötig“ zu reduzieren. Beiden Ursachen könnte durch entsprechende Schulungen der Zusteller entgegengewirkt werden.

Die o.g. „Reichweitenangst“ der Zusteller konnte durch die im Sommer 2016 erhobenen Daten bereits widerlegt werden. Auch die Daten aus den Jahren 2017 und 2018 konnten dies bestätigen. Abbildung 54 gibt dazu den Anteil der Fahrzeuge in Abhängigkeit des Batterieverbrauchs (SOC-Verbrauchs) während einer Zustellfahrt an.

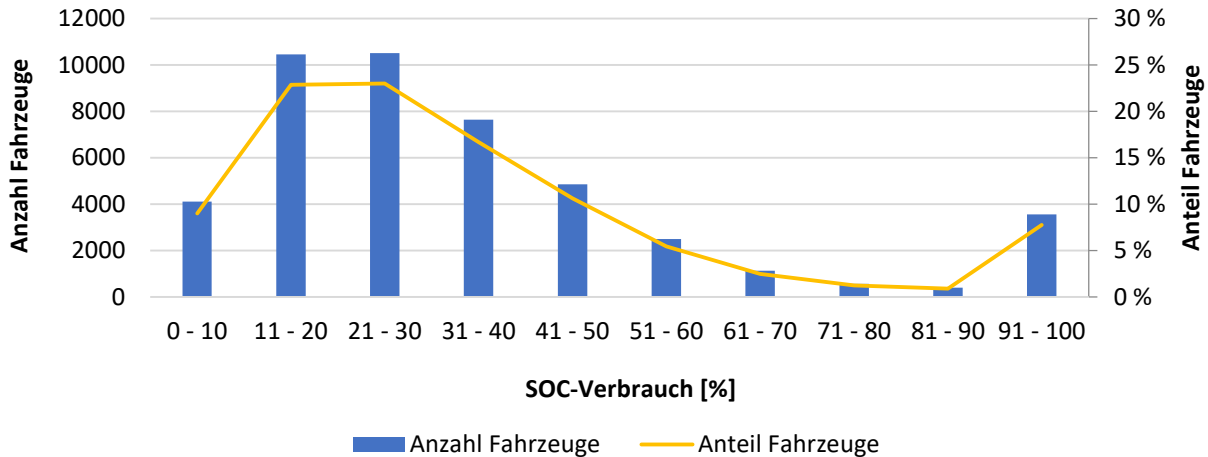


Abbildung 54: SOC-Verbrauch der Zustellfahrzeuge während einer Zustellfahrt

Mehr als Hälfte der Fahrzeuge verbraucht während der Zustellfahrt weniger als 30% der durch die Batterie zur Verfügung gestellten Energie. Entsprechend zeigt Abbildung 55 eine Gegenüberstellung der Start-SOC (vor der Zustellfahrt) und End-SOC (nach der Zustellfahrt) der Zustellfahrzeuge.

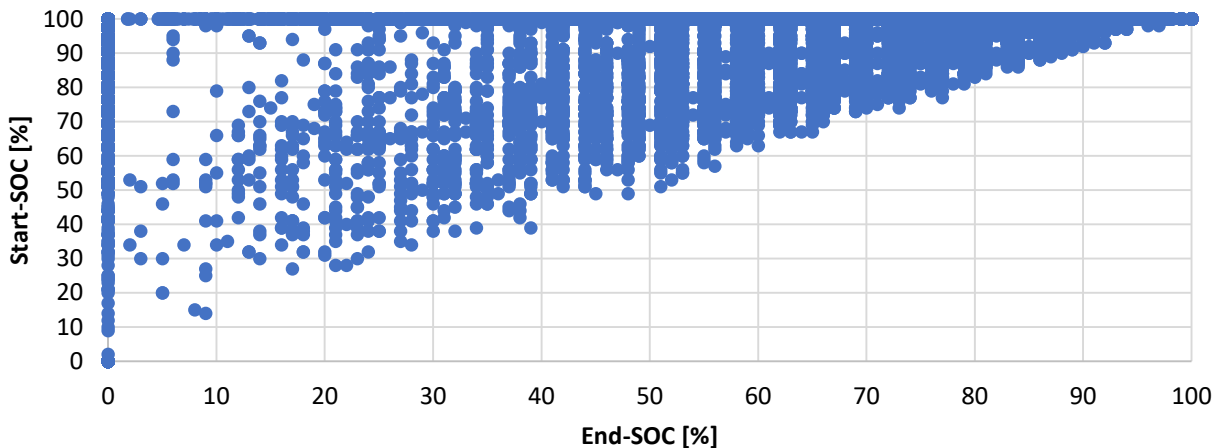


Abbildung 55: Gegenüberstellung des Start-SOC und End-SOC

Auch in dieser Abbildung erkennt man, dass ein Großteil der Fahrzeuge unter 50% der Batteriekapazität verbrauchen und somit mit einem hohen End-SOC zur Zustellbasis zurückkehren. Die Reichweitenangst der Zusteller kann dadurch in den meisten Fällen widerlegt werden.

Im Rahmen der o.g. Reichweithematik kommt darüber hinaus der Rekuperation eine besondere Bedeutung zu. Je mehr das Bewusstsein der Zusteller für das Potential gestärkt wird, das die Rekuperationsvorgänge mit sich bringen, desto mehr „Reichweitenangst“ kann ihnen genommen werden. Abbildung 56 stellt die rekuperierte Energie über den zurückgelegten Höhenmetern dar.

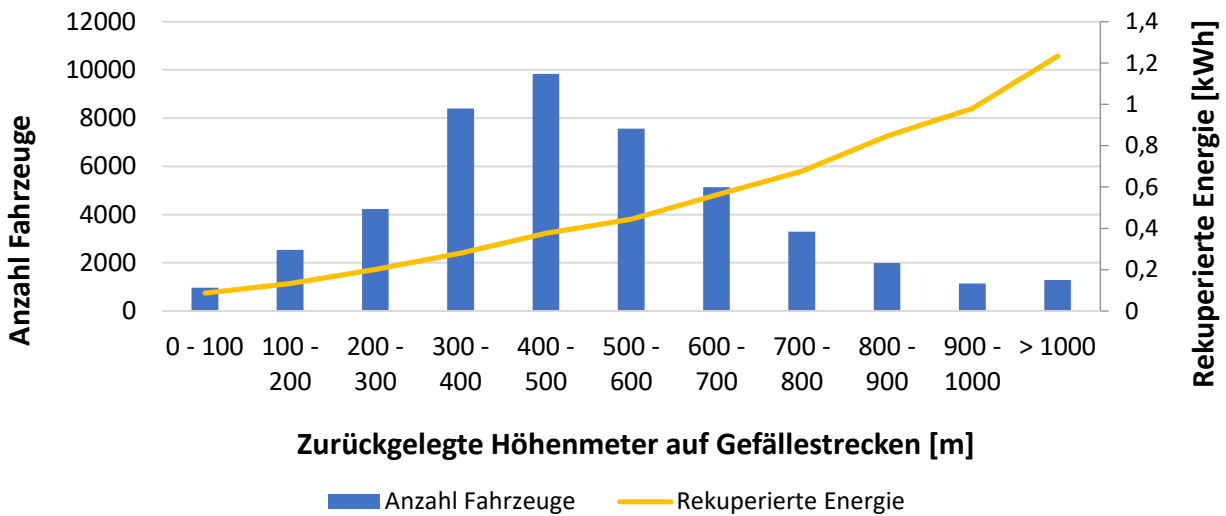


Abbildung 56: Rekuperierte Energie in Abhängigkeit der zurückgelegten Höhenmeter

Die Abbildung zeigt, dass die durch Rekuperation zurückgewonnene Energie mit steigender Anzahl an Höhenmetern deutlich zunimmt. Parallel hängen die durchschnittlich verbrauchten Energien allerdings stark von den Regionen ab, in denen sich die Zustellfahrzeuge bewegen (siehe Abbildung 57).

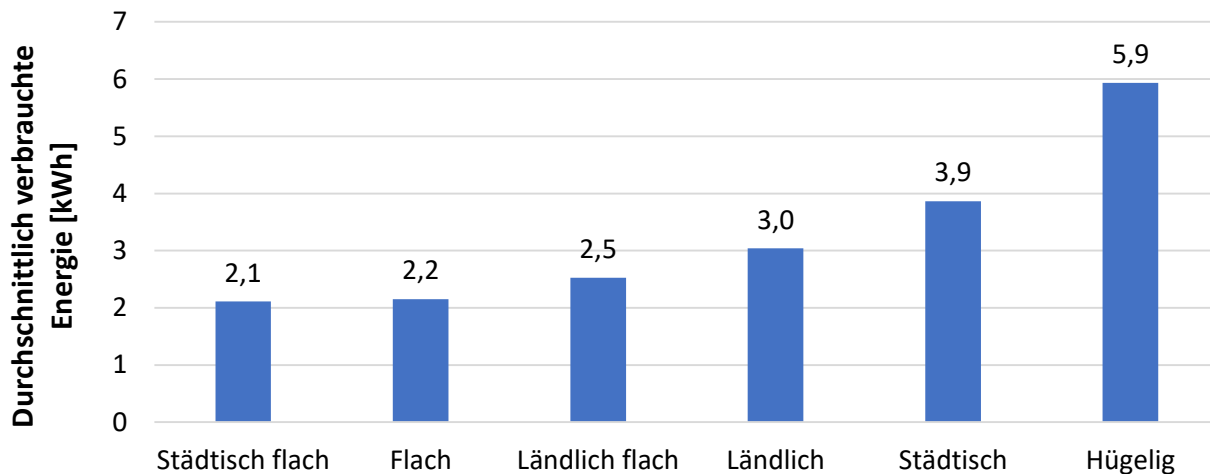


Abbildung 57: Durchschnittlicher Energieverbrauch in Abhängigkeit der Region

Abbildung 57 zufolge wird in hügeligen Regionen mit 5,9 kWh deutlich mehr Energie verbraucht als in ländlichen (3,0 kWh) und flachen Regionen (2,2 kWh). Die über dem Durchschnitt liegende Anzahl an Rekuperationsvorgängen in hügeligen Regionen kann dies zumindest teilweise kompensieren.

Neben der Art der Region, in der sich die Zustellfahrzeuge bewegen, hängt die durchschnittlich verbrauchte Energie auch stark von der erreichten

Maximalgeschwindigkeit ab, die während der Zustellfahrt erreicht wurde (siehe Abbildung 58).

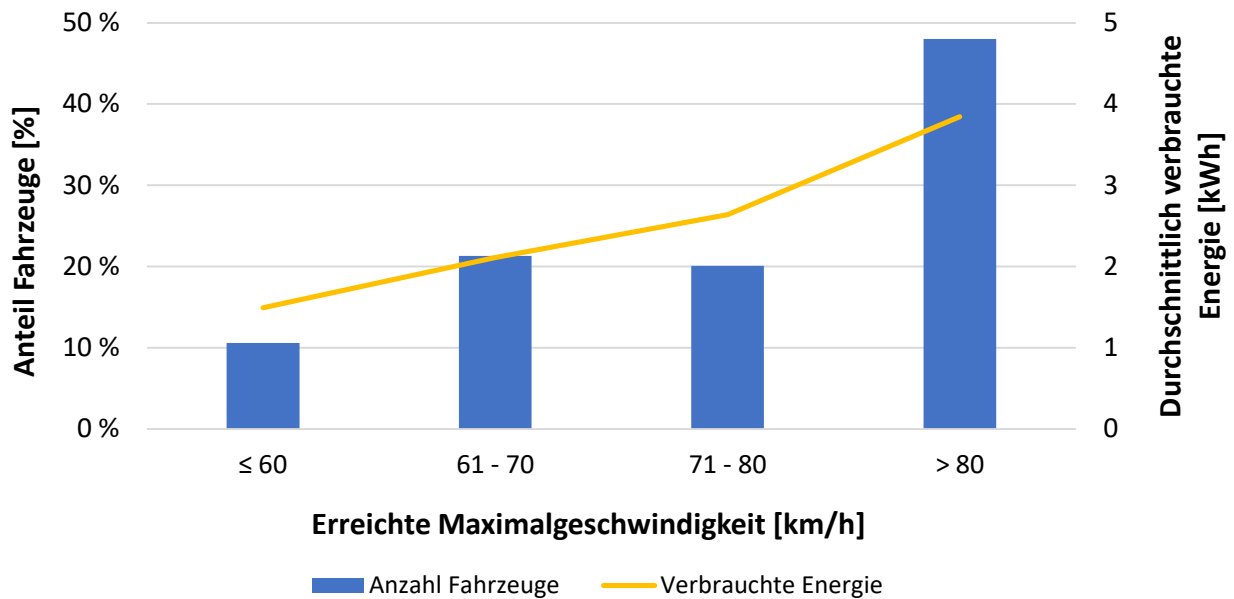


Abbildung 58: Durchschnittlicher Energieverbrauch in Abhängigkeit der erreichten Maximalgeschwindigkeit

Fast die Hälfte aller Zustellfahrzeuge erreichen während ihrer Zustellfahrt die Maximalgeschwindigkeit von ca. 85 km/h, wobei der durchschnittliche Energieverbrauch bei ca. 4 kWh liegt. Beträgt die Maximalgeschwindigkeit während einer Zustellfahrt hingegen nur 60 bis 70 km/h, kann der Energieverbrauch auf nahezu 2 kWh halbiert werden. Auch hier kann eine Sensibilisierung der Zusteller dazu führen, dass der Energieverbrauch deutlich gesenkt werden kann.

Ein weiterer Einflussfaktor auf den Energieverbrauch der Zustellfahrzeuge ist die Anzahl der Stopp während einer Zustellfahrt. Ein Stopp wurde dabei von den Messgeräten an den Zustellfahrzeugen aufgezeichnet, sobald die Differenz der aktuellen Zeit und der letzten Fahrzeit größer oder gleich 30 Sekunden war. Die Fahrzeit ist dabei die Zeit, in der die Geschwindigkeit größer oder gleich 2,5 km/h betragen hat. Abbildung 59 zeigt die Verteilung der Fahrzeuge sowie ihren durchschnittlichen Energieverbrauch über der Stoppanzahl.

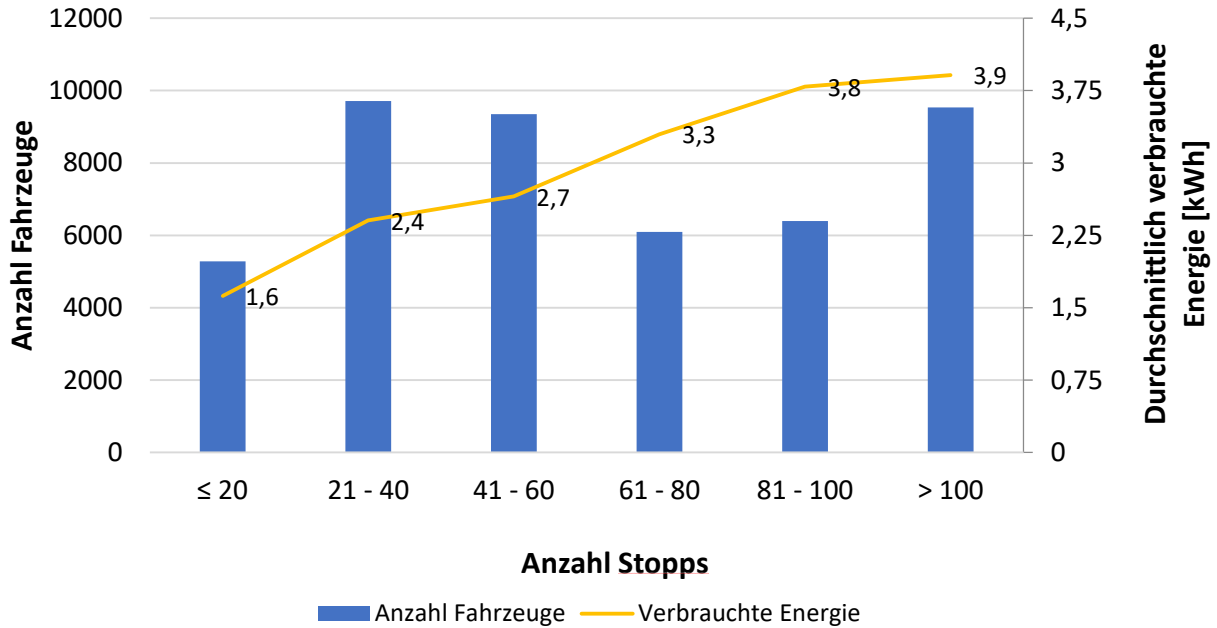


Abbildung 59: Durchschnittlicher Energieverbrauch in Abhängigkeit der Anzahl der Stopps

Abbildung 59 zeigt, dass der durchschnittliche Energieverbrauch der Fahrzeuge mit steigender Stoppanzahl ebenfalls ansteigt. Bei über 100 Stopps pro Zustellfahrt beträgt der Verbrauch im Durchschnitt 3,9 kWh, während ein Fahrzeug, das 21 bis 40 Stops innerhalb einer Zustellfahrt macht, nur 2,4 kWh verbraucht.

Die Zustellfahrzeuge können zwischen den folgenden vier Fahrmodi wählen:

- Fahrmodus e (economic) → Standard
- Fahrmodus d (drive)
- Fahrmodus n (neutral)
- Fahrmodus r (reverse)

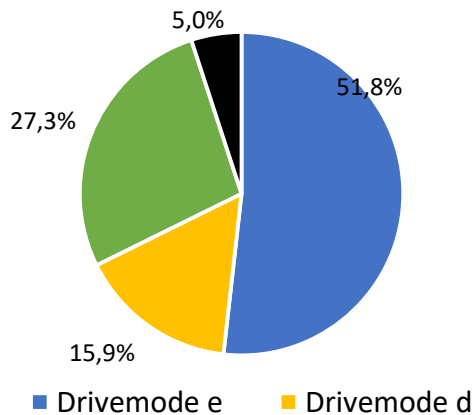


Abbildung 60: Zeitliche Aufteilung nach Fahrmodi

Die prozentuale Verteilung der vier Fahrmodi bezogen auf die gesamte Fahrzeit der entsprechenden Zustellfahrt ist in Abbildung 60: Zeitliche Aufteilung nach Fahrmodi dargestellt.

Die Abbildung zeigt, dass über die Hälfte (51,8 %) der gesamten Fahrzeit pro Zustellfahrt im Fahrmodus e gefahren wird, der im Vergleich zum Fahrmodus d (15,9 %) verbrauchsoptimiert ist. Über ein Viertel (27,3 %) der Fahrzeit befindet sich die Zustellfahrzeuge im Fahrmodus n, was durch die langen Standzeiten der Fahrzeuge während einer Zustellfahrt zu erklären ist. Die übrige Fahrzeit (5,0 %) befindet sich das Getriebe im Rückwärtsgang. Die prozentuale Verteilung der einzelnen Fahrzeuge auf die Fahrmodi e und d zeigen Abbildung 61 und Abbildung 62.

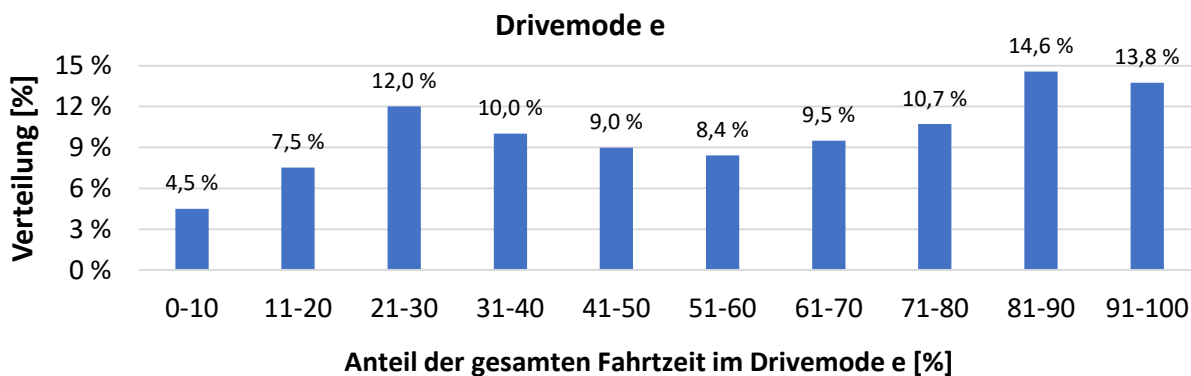


Abbildung 61: Verteilung der Fahrzeuge auf den Anteil des Fahrmodus e an der gesamten Fahrzeit

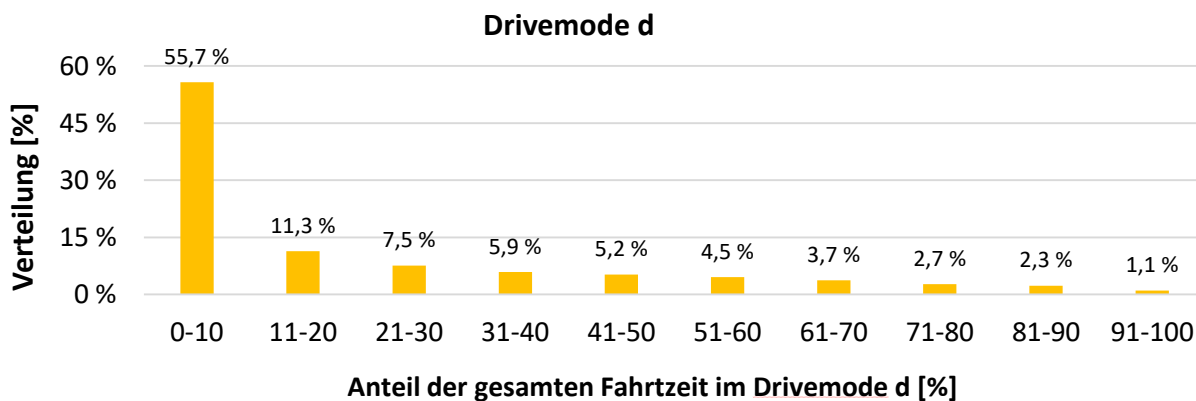


Abbildung 62: Verteilung der Fahrzeuge auf den Anteil des Fahrmodus d an der gesamten Fahrzeit

Die Abbildungen zeigen, dass sich die Fahrzeugverteilung innerhalb der beiden Fahrmodi stark unterscheiden. Die Verteilung im Fahrmodus e (siehe Abbildung 61) ist deutlich konstanter als die Verteilung im Fahrmodus d (siehe Abbildung 62). Über die Hälfte der Zusteller (55,7 %) fahren unter 10 % der gesamten Fahrzeit im Fahrmodus d, während



sich etwa genauso viele Zusteller (57 %) in einem Bereich zwischen 51 % und 100 % der Fahrtzeit im Fahrmodus e befinden.

Die Auswertung der DailyStats erlaubt darüber hinaus auch Aussagen über Unterschiede zwischen den beiden Fahrzeugmodellen StreetScooter Work (B16) und StreetScooter Work L (D16). So unterscheiden sich die beiden Modelle beispielsweise in der Anzahl der Stopps und Türöffnungen je Zustellfahrt (siehe Abbildung 63).

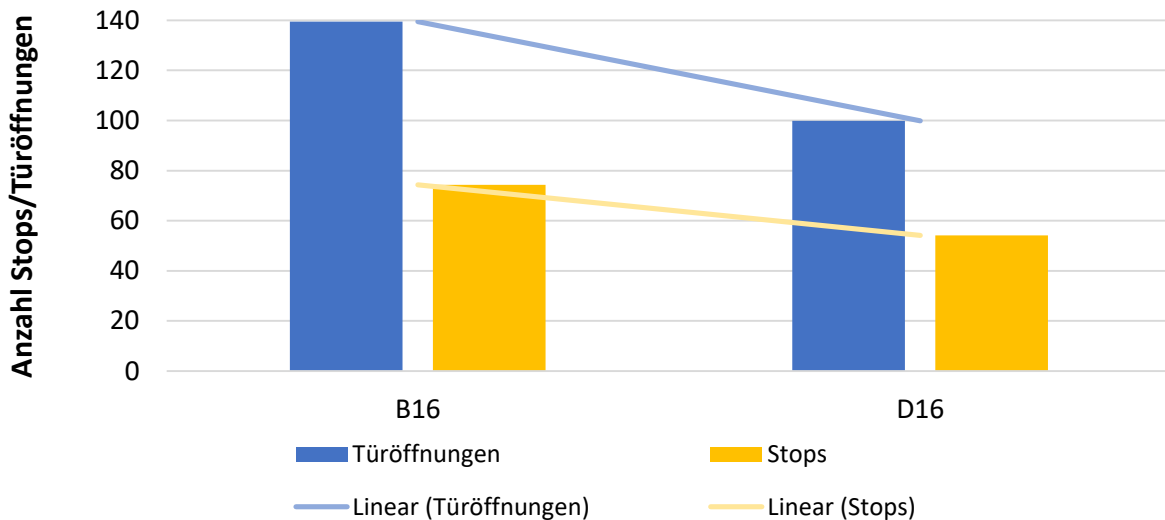


Abbildung 63: Anzahl der Stopps und Türöffnungen in Abhängigkeit des Fahrzeugmodells

Sowohl die Anzahl der Stopps als auch die Anzahl der Türöffnungen sind bei Fahrten mit dem StreetScooter Work höher als beim StreetScooter Work L. Der Grund dafür liegt in den unterschiedlichen Regionen, in denen die beiden Modelle typischerweise eingesetzt werden: je größer das Fahrzeugmodell desto geringer die Stoppdichte sowie die durchschnittliche Anzahl der Türöffnungen pro Zustellfahrt. Ein weiterer Unterschied zwischen den Fahrzeugmodellen betrifft die Aktivierung der Frontscheibenheizung (siehe Abbildung 64 und Abbildung 65).

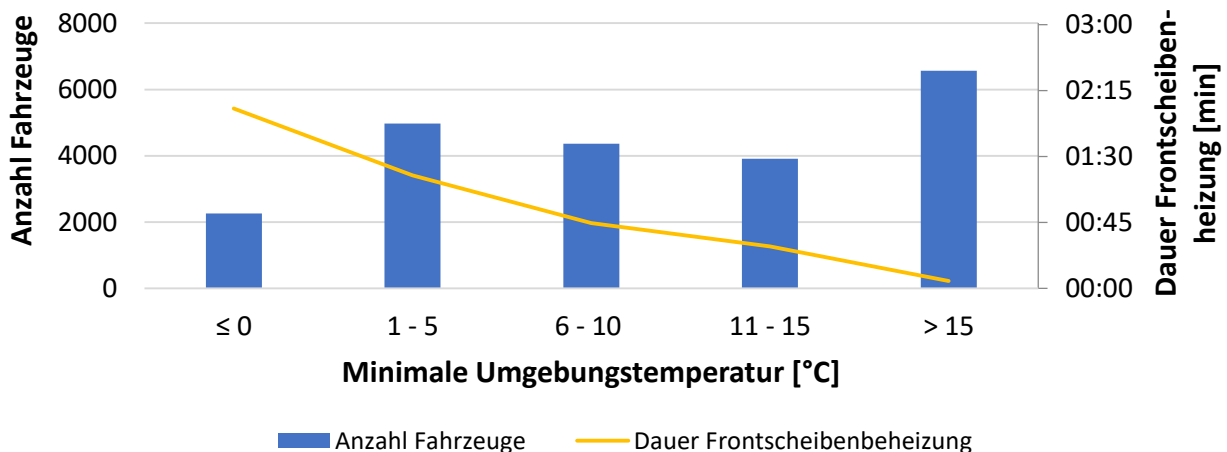


Abbildung 64: Betätigung der Frontscheibenheizung (B16) in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur

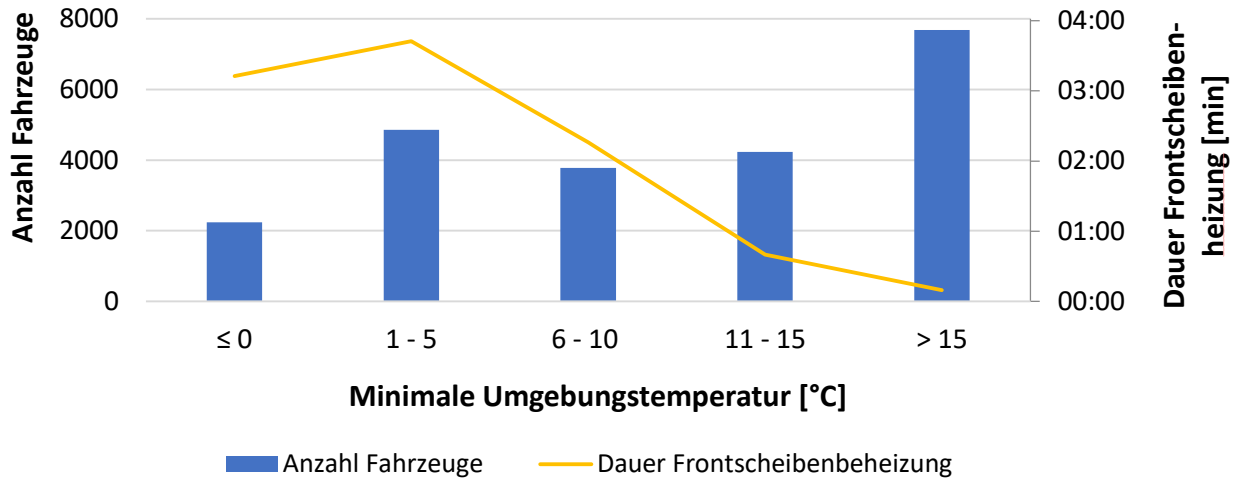


Abbildung 65: Betätigung der Frontscheibenheizung (D16) in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur

Beide Abbildungen lassen erkennen, dass die Frontscheibenheizung länger aktiviert bleibt je geringer die minimale Umgebungstemperatur während der Zustellfahrt ist. Der Vergleich zwischen den beiden Abbildungen (obere Abbildung: StreetScooter Work; untere Abbildung: StreetScooter Work L) zeigt, dass die Frontscheibenheizung beim StreetScooter Work L häufiger eingeschaltet wird bzw. länger aktiviert bleibt als beim StreetScooter Work. Es gilt also auch hier: je größer das Fahrzeugmodell desto länger wird im Durchschnitt die Frontscheibenheizung aktiviert.

Neben den *DailyStats* wurden dem PEM außerdem *Verlaufsdaten* zur Verfügung gestellt. Die Verlaufsdaten wurden als Zeitreihe aufgezeichnet (Sekundentakt) und erlauben daher ein detailliertes Nachvollziehen der Fahrzeugnutzung während eines Zeitraums von einigen Stunden. Abbildung 66 zeigt den Spannungs- und Geschwindigkeitsverlauf der Batterie bzw. des Fahrzeugs während eines Zeitraums von etwa einer halben Stunde.

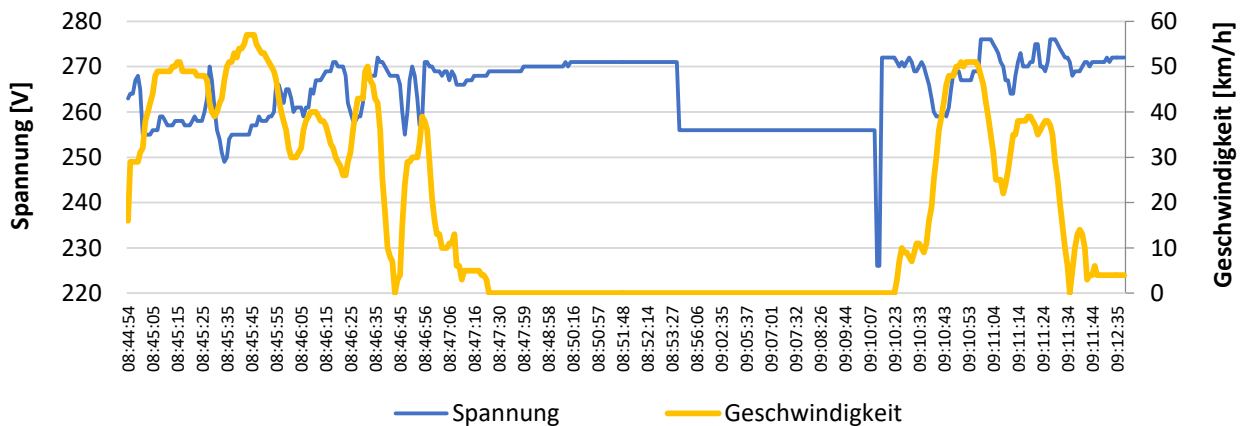


Abbildung 66: Spannungs- und Geschwindigkeitsverlauf über der Zeit

Abbildung 66 zeigt, dass die Batteriespannung bei hohen Fahrzeuggeschwindigkeiten im Allgemeinen niedrig ist und es sich bei niedrigen Fahrzeuggeschwindigkeit genau



CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von  
Deutsche Post DHL Group

umgekehrt verhält, sodass sich die Verläufe der beiden Messgrößen näherungsweise antiproportional zueinander verhalten.

Zusammenfassend wurde im Rahmen der Datenanalyse die Datengrundlage (bestehend aus DailyStats und Verlaufsdaten) aufbereitet und ausgewertet. Die Auswertung ist dabei in Form von Diagrammen vorgenommen worden, in denen mehrere Parameter grafisch gegenübergestellt wurden. Im Ergebnis konnten somit Korrelationen und andere Wirkzusammenhänge aufgedeckt werden, aus denen Verbesserungspotentiale und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden konnten.



CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von  
Deutsche Post DHL Group

## 4 Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan

Ziel des Vorhabens war die Untersuchung des Leistungsvermögen batterieelektrisch betriebener Fahrzeuge im gewerblichen Flottenbetrieb über einen Zeitraum von drei Jahren. Die einmalige Aufstockung der Projektmittel vergrößerte das Beschaffungsvolumen von ursprünglich 1.050 auf 2.130 Fahrzeugen und Ladepunkte. Diese Abweichung wertet die Ergebnisse in der Projektphase gegenüber dem ursprünglichen Projektplan auf. Das Teilvorhaben 7 (TV-7) des Verbundprojekts bestand aus der Datenaufbereitung und Datenanalyse realer Flottendaten bei Zustellfahrzeuge der Deutschen Post. Die Erhebung der Daten, auf der die anschließende Aufbereitung und Analyse basierten, wurde in enger Abstimmung zwischen dem PEM der RWTH Aachen, der StreetScooter GmbH und Deutsche Post DHL Group durchgeführt. Da v.a. die Analyse und Auswertung der täglichen Verfügbarkeit (DailyStats) Rückschlüsse auf das personenbezogene Verhalten der Zusteller erlauben, wurde die Weiterleitung dieser Daten zunächst durch die Rechtsabteilungen der o.g. Projektteilnehmer geprüft. Währenddessen wurden dem PEM der RWTH als Übergangslösung exemplarische Daten zur Verfügung gestellt. Auf dieser Datengrundlage konnten bereits Analysemethoden getestet werden, die nach Klärung der rechtlichen Situation auf den vollständigen Datensatz angewendet werden konnten. Die bei Projektbeginn festgelegte Terminalschiene des TV-7 hat sich dadurch insgesamt um mehrere Monate verzögert. Die Projektziele wurden dennoch erreicht.

## 5 Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

Eine Reihe von bereits abgeschlossenen Förderprojekten adressiert den Themenbereich der elektromobilen Logistik und insbesondere auch den Einsatz von Elektrofahrzeugen in der Zustellung von Briefen und Paketen sowie der innerstädtischen Logistik. Dabei wurden einzelne Fragestellungen erprobt, wie z.B. die Umweltauswirkungen einer elektromobilen Flotte, die Auswirkungen auf logistische Prozesse oder die Vernetzung mit der Ladeinfrastruktur. Die Aggregation dieser Themenfelder innerhalb eines übergreifenden Feldversuchs blieb dabei jedoch unberücksichtigt und wurde erst im Rahmen des Verbundvorhaben CO<sub>2</sub>-Freie Zustellung untersucht.

Außerdem sind nach dem Stand der Technik einzelne Initiativen im Bereich des kontaktlosen Ladens per Induktion bereits in der Umsetzung. Die Technologie existiert allerdings bislang in keiner automobilen Serienanwendung, da sich die Versuche derzeit vor allem auf Beispielanwendungen unter definierten Bedingungen beschränken, in denen technische Fragestellungen zur Weiterentwicklung des Gesamtsystems im Vordergrund stehen. Anpassungen innerhalb der betrieblichen Prozesse und die Integration in die bestehende Ladeinfrastruktur sind dabei erstmals im Rahmen des dritten Teilvorhabens (TV-3) des CO<sub>2</sub>-Frei-Projekts analysiert worden.

Die Größenordnung des Feldversuches ist hinsichtlich Fahrzeuganzahl und Skalierbarkeit der Einsatzorte (Fokus Innenstädte über das Programm „Saubere Luft“) im internationalen Maßstab einzigartig. Ebenso konnten die Projektpartner nachweisen, die Anwendung auch auf andere Flotten (z.B. in Großbritannien) übertragen zu können. Die Ergebnisse versprechen eine sehr gute Marktfähigkeit.

## 6 Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

Die wesentlichen Ziele des Verbundvorhabens bestanden darin, die Chancen einer elektrisch betriebenen Fahrzeugflotte nachzuweisen und den Weg hin zu einer vollständig CO<sub>2</sub>-freien Zustellung zu ebnen. Die zukünftige Herausforderung und weiterer F&E-Bedarf besteht nun darin, die nachgewiesenen Chancen zeitnah umzusetzen. Mögliche Anschlussprojekte sollten demnach das Ziel verfolgen, die Elektrifizierung der Fahrzeugflotte deutschlandweit in möglichst kurzer Zeit zu realisieren.

Im Rahmen des Projekts wurden außerdem neue Nutzungsszenarien für rein-elektrische sowie gemischte Flotten entworfen und damit weitere Anwendungsfelder der Elektromobilität in neuen Marktsegmenten erschlossen. Weitere Forschungsprojekte könnten nun darauf abzielen, die Entwürfe auszuarbeiten, zu detaillieren und umzusetzen und damit die Verbreitung der Elektromobilität in Deutschland weiter voranzubringen.



## 7 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Die Förderbereiche des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) adressieren folgende Themenfelder (Stand 01/2019):

- **Klima** · Energie
- Nachhaltigkeit · Internationales
- Atomenergie · Strahlenschutz
- Wirtschaft · Produkte · **Ressourcen** · Tourismus
- Natur · Biologische Vielfalt · Arten
- **Gesundheit** · Chemikalien
- Wasser · Abfall · Boden
- **Luft** · **Lärm** · **Verkehr**
- Bildung · Beteiligung
- Forschung · Förderung

Das Verbundprojekt CO<sub>2</sub>-freie Zustellung bundesweit adressiert dabei gleich mehrere der o.g. Themenfelder. Die Elektrifizierung der Fahrzeugflotte der DPDHL Group trägt v.a. zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bei, die durch den **Verkehr** auf deutschen Straßen verursacht werden. Durch den **Ressourcenschutz** sowie die bessere **Luftqualität** in Städten wird sowohl ein Beitrag zur Erreichung des weltweiten **Klimaschutzes** als auch der Verbesserung des **Gesundheitsschutzes** geleistet. Darüber hinaus bewirkt die Substitution von konventionellen Verbrennungsmotoren durch geräuscharme Elektromotoren eine Reduzierung des **Verkehrslärms** auf deutschen Straßen.



CO<sub>2</sub>-freie Zustellung von  
Deutsche Post DHL Group

## 8 Darstellung der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen der Ergebnisse

Aus datenschutzrechtlichen Gründen (siehe Kapitel 4) wurde zwischen dem PEM der RWTH und der StreetScooter GmbH die Vereinbarung getroffen, dass die Ergebnisse des Teilvorhabens 7 (TV-7) nicht veröffentlicht werden dürfen (siehe *Konsortialvertrag/ Geheimhaltungsvertrag* sowie Übersicht *Bundesweite Umsetzung von E-Mobilität im Flottenbetrieb – CO<sub>2</sub>-freie Zustellung*).

Die Projektpartner haben für das Projekt ein eigenständiges Logo entworfen und das Vorhaben in diversen Fachvorträgen vorgestellt.

Alle über das Projekt geförderten Fahrzeuge waren mit dem Logo und dem Kennzeichen des Fördermittelgebers gekennzeichnet.

Abschlussbericht

StreetScooter GmbH, Aachen

27.06.19, Aachen

Datum, Ort

CTO

~~CEO~~

Position



Unterschrift

27.06.19, Aachen

Datum, Ort

Präkursoristin

Position



Unterschrift